



**Rita Coelho Ascenso**

Licenciada em Engenharia do Ambiente

## **Caracterização do Estado Trófico de Albufeiras do Norte Alentejano**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente – Ramo Engenharia Sanitária

Orientador: Prof. Doutora Maria da Conceição Carrilho  
Raimundo dos Santos, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral  
Arguente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho  
Vogal: Prof. Doutora Maria da Conceição Carrilho Raimundo dos Santos  
(Orientadora)



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Novembro 2012**



# **Caracterização do Estado Trófico de Albufeiras do Norte Alentejano**

## **Casos de estudo: Albufeira da Apartadura e Albufeira de Póvoa e Meadas**

### **Copyright**

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

À Professora Doutora Conceição Raimundo que mesmo após vários anos de interrupção aceitou continuar a orientar-me no meu trabalho.

E aos meus pais que permitiram e incentivaram os meus estudos no ensino superior.

Obrigada a todos.



## Resumo

A eutrofização é um dos principais problemas que afectam a qualidade das águas superficiais, em Portugal e em particular no Norte Alentejano, contribuindo para a degradação dos ecossistemas aquáticos, chegando em muitos casos a condicionar a utilização da água para consumo humano, bem como actividades recreativas praticadas nas albufeiras.

Neste estudo procedeu-se à avaliação do estado trófico e à estimativa das cargas de nutrientes afluentes às duas albufeiras do Norte Alentejano - Apartadura e Póvoa e Meadas - que apesar de relativamente próximas apresentam características distintas.

A afluência de nutrientes (azoto e fósforo) à massa de água é potenciada pelas actividades humanas existentes na bacia hidrográfica, sendo as populações urbanas e as actividades agro-pecuárias as principais fontes de poluição pontual das duas albufeiras em estudo. A actividade agrícola é considerada a principal fonte difusa de nutrientes, no entanto as actividades agro-pecuárias realizadas em regime extensivo, e o deficiente tratamento dos efluentes urbanos e industriais afluentes às duas albufeiras, contribuem para este tipo de poluição.

Apesar dos estudos sobre poluição difusa serem ainda reduzidos em Portugal, a sua importância no controlo da qualidade das massas de águas é fundamental, pelo que neste estudo se procedeu à sua determinação através do Método das Taxas de Exportação, atribuindo um coeficiente de exportação a cada classe do uso do solo.

As cargas de nutrientes de origem pontual que se estimaram afluir às albufeiras, bem como o método utilizado para a determinação das cargas de origem difusa, são válidos para para a albufeira de Póvoa e Meadas, no período analisado, mas não para a albufeira da Apartadura. O Método das Taxas de Exportação pode ser aplicado a outras albufeiras do Norte-Alentejano, mas revelou-se mais adequado a albufeiras que apresentam elevada carga afluente de nutrientes, isto é, grande volume de actividades urbanas, industriais e agro-pecuárias na bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** *eutrofização, poluição difusa, cargas de azoto e fósforo, albufeira da Apartadura, albufeira de Póvoa e Meadas*





## Abstract

Eutrophication is the major problem affecting the surface waters quality in Portugal and particularly in Northern Alentejo, contributing to aquatic ecosystems degradation and in many cases constrain the use of human consumption water, as well as recreational activities practiced in reservoirs.

This study proceeded to trophic status evaluation and estimation of nutrient loads of two reservoirs tributaries in the North Alentejo - Apartadura and Póvoa and Meadas - that despite relatively close geographically, have different characteristics.

The influx of nutrients (nitrogen and phosphorus) in the water body is improved by human activities existing in the watershed. Urban populations's effluents and agricultural activities are the main sources of pollution in the two reservoirs studied. Agricultural activity is considered the main source of diffuse pollution however agro-livestock activities conducted in extensive way and the poor treatment of urban and industrial effluents also contribute to this type of pollution.

The diffuse pollution studies are still reduced but his importance to the water bodies quality monitoring is already recognized, therefore the study was based in the Exchange Export method which assigned a weighting to each class of land use.

The nutrients loads estimated for the two reservoirs under study have proved most suitable loads for phosphorus than for nitrogen, which one of major sources is atmospheric deposition not considered in this estimate.

The estimated nutrients load from point source, as well as the method used for determining the diffuse source loads are valid for the Póvoa e Meadas reservoirs under study in the analyzed period, but not for the Apartadura reservoir. Therefore it's considered that the used methodology can be applied to others reservoirs in the North Alentejo, but it's more suitable for reservoirs with large nutrients load.

**Keywords:** *eutrophication, diffuse pollution, loads of nitrogen and phosphorus, Apartadura reservoir, Póvoa and Meadas reservoir*



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Eutrofização - definição .....	1
1.2. Causas da Eutrofização (Principais nutrientes) .....	1
1.2.1. Origens Naturais e Antropogénicas de Azoto e Fósforo .....	2
1.2.2. Formas de afluência às massas de água .....	4
1.2.3. Estimativa das cargas afluentes em função das actividades nas bacias hidrográficas – Métodos utilizados .....	5
1.2.4. Cargas com perigo de eutrofização .....	8
1.2.5. Caracterização dos diferentes estados tróficos .....	9
1.3. Consequências da Eutrofização .....	10
1.3.1. Influência sobre o equilíbrio biológico dos ecossistemas – ocorrência de blooms fitoplantónicos .....	10
1.3.2. Influência sobre a qualidade físico-química da água e ambiente aquático .....	11
1.4. Classificação do Estado Trófico de Lagos e Albufeiras .....	15
1.4.1. Critério de Vollenweider .....	15
1.4.2. Critério da OCDE e Critério do INAG .....	15
1.4.3. Índices do Estado Trófico de Carlson .....	16
<b>2. OBJECTIVO .....</b>	<b>19</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
3.1. Caracterização das albufeiras .....	21
3.2. Levantamento dos dados de qualidade da água .....	21
3.3. Estimativa das cargas de fósforo total e azoto total .....	21
3.3.1. Estimativa das cargas de fósforo total e azoto total de origem Urbana .....	21
3.3.2. Estimativa das Cargas de fósforo total e azoto total provenientes da actividade Agropecuária .....	22
3.3.3. Estimativa das Cargas de fósforo total e azoto total provenientes da actividade Industrial - Lagares .....	25
3.3.4. Estimativa das Cargas de fósforo total e azoto total provenientes de fontes difusas .....	26
3.3.5. Cálculo das cargas anuais de azoto total e fósforo total por unidade de área e ano .....	27
3.4. Métodos de Classificação do Estado Trófico das Albufeira .....	29

3.5.	Estimativa da concentração de clorofila a através de equações .....	30
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DAS ALBUFEIRAS E ZONAS ENVOLVENTES.....</b>	<b>31</b>
4.1.	Caracterização climática da região .....	31
4.1.1.	Precipitação .....	31
4.1.2.	Temperatura.....	31
4.1.3.	Insolação.....	31
4.1.4.	Nebulosidade .....	32
4.1.5.	Humidade relativa do ar .....	32
4.1.6.	Vento.....	32
4.1.7.	Evaporação .....	32
4.1.8.	Caracterização Geológica da região .....	33
4.2.	Caracterização das Albufeiras e áreas envolventes .....	34
4.2.1.	Albufeira da Apartadura .....	34
4.2.2.	Albufeira de Póvoa e Meadas.....	37
4.3.	Usos da água (actuais e potenciais) .....	40
4.3.1.	Albufeira da Apartadura .....	40
4.3.2.	Albufeira de Póvoa e Meadas.....	42
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
5.1.	Caracterização do estado de qualidade da água.....	43
5.1.1.	Albufeira da Apartadura .....	43
5.1.2.	Albufeira de Póvoa e Meadas.....	46
5.2.	Estimativa das cargas de nutrientes afluentes.....	48
5.2.1.	Albufeira da Apartadura .....	48
5.2.1.1.	Identificação das Fontes Tópicas de Poluição .....	48
5.2.1.2.	Estimativa das Cargas de Azoto e Fósforo de Origem Tópica.....	49
5.2.1.2.1.	Origem Urbana .....	49
5.2.1.2.2.	Actividade Agropecuária.....	50
5.2.1.3.	Estimativa de Cargas de Azoto e Fósforo provenientes da Actividade Agropecuária .....	50
5.2.1.4.	Estimativas das Cargas Poluentes de Origem Difusa .....	51
A.	Identificação das áreas em função do tipo de ocupação do solo .....	51
B.	Determinação das Cargas Totais Poluentes de Origem Difusa .....	52

5.2.2.	Albufeira de Póvoa e Meadas.....	53
5.2.2.1.	Identificação das Fontes Tópicas de Poluição.....	53
5.2.2.2.	Estimativa das cargas de Azoto e Fósforo de Origem Tópica.....	56
5.2.2.2.1.	Origem Urbana .....	56
5.2.2.2.2.	Origem Industrial .....	57
5.2.2.2.3.	Origem Agropecuária .....	57
5.2.2.2.4.	Cargas totais de origem tónica.....	59
5.2.2.3.	Estimativa das cargas de Azoto e Fósforo de Origem Difusa .....	59
5.2.2.3.1.	Identificação das áreas em função do tipo de ocupação de solo .....	59
5.2.2.3.2.	Determinação das Cargas totais de poluentes de Origem Difusa .....	60
5.3.	Relação entre cargas afluentes e concentração de nutrientes na massa de Água: comparação entre valores estimados e medidos.....	62
5.4.	Caracterização do estado trófico das albufeiras .....	64
5.4.1.	Relação entre a profundidade média e as cargas de nutrientes afluentes .....	64
5.4.2.	Classificação do estado trófico .....	64
5.5.	Relação entre as concentrações de nutrientes e a concentração de clorofila a.....	67
5.5.1.	Relação entre nutrientes e clorofila a – Valores medidos nas albufeiras.....	67
5.5.2.	Estimativa da Concentração de Clorofila a através de Equações.....	70
5.5.3.	Correlações entre a clorofila a e transparência .....	73
5.5.4.	Comparação dos dados estimados pelos diversos métodos com os valores reais .....	74
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>85</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Localização da albufeira da Apartadura.</i> .....	35
Figura 2 - <i>Carta hipsométrica da bacia hidrográfica da Apartadura.</i> .....	37
Figura 3 - <i>Localização da albufeira de Póvoa e Meadas.</i> .....	38
Figura 4 - <i>Carta hipsométrica da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas</i> .....	40
Figura 5 - <i>Usos principais das albufeiras da bacia hidrográfica do Tejo</i> .....	41
Figura 6 - <i>Usos de solo na bacia hidrográfica da Apartadura.</i> .....	51
Figura 7 - <i>Fontes de poluição pontual da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas.</i> .....	54
Figura 8 - <i>Fontes de poluição pontual e tipo de tratamento.</i> .....	54
Figura 9 - <i>Quantificação das cargas poluentes afluentes à bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas por tipo de actividade, medidas em kg CBO5/dia.</i> .....	58
Figura 10 - <i>Usos de solo na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas</i> .....	60
Figura 11 - <i>Concentrações de azoto e fósforo estimadas e medidas na albufeira da Apartadura.</i> .....	63
Figura 12 - <i>Concentrações de azoto e fósforo estimadas e medidas na albufeira de Póvoa e Meadas.</i> .....	63
Figura 13 - <i>Relação entre as concentrações médias anuais de azoto total e as concentrações médias anuais de clorofila a para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> .....	67
Figura 14 - <i>Relação entre as concentrações médias anuais de fósforo total e as concentrações médias anuais de clorofila a para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> .....	68
Figura 15 - <i>Relação entre a concentração máxima de fósforo total no inverno e a concentração máxima de clorofila a no verão, para a albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> ...	69
Figura 16 - <i>Relação entre a concentração média de clorofila a no verão e a concentração mínima de fósforo total no verão para a albufeira da Apartadura.</i> .....	70
Figura 17 - <i>Relação entre a concentração média de clorofila a no verão e a concentração mínima anual de fósforo total para a albufeira de Póvoa e Meadas.</i> .....	70
Figura 18- <i>Relação entre a concentração de clorofila a e transparência na albufeira da Apartadura.</i>	73
Figura 19- <i>Relação entre a concentração de clorofila a e a transparência na albufeira de Póvoa e Meadas.</i> .....	73





## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Cargas máximas permissíveis e com perigo de eutrofização de fósforo total e de azoto total para diferentes profundidades médias de lagos e albufeiras.....	9
Quadro 2 – Classificação do estado trófico baseada nas concentrações de fósforo total e do azoto total. ....	15
Quadro 3 – Valores limites de concentração (excepto Disco de Secchi) estabelecidos pela OCDE para as diversas categorias tróficas. ....	16
Quadro 4 - Critério de eutrofização estabelecido pelo INAG .....	16
Quadro 5 – Índice do Estado Trófico de Carlson (TSI). ....	17
Quadro 6 – Composição média de azoto, fósforo e carência bioquímica de oxigénio para um efluente urbano típico. ....	22
Quadro 7 - Quantidade média de nutrientes principais excretados anualmente por unidade animal das principais espécies pecuárias .....	23
Quadro 8 - Animais-equivalente para as principais actividades de bovinicultura. ....	24
Quadro 9 - Valores animais-equivalente para as principais actividades de suinicultura. ....	24
Quadro 10 - Composição média de azoto, fósforo e CBO <sub>5</sub> para um efluente de lagar, em mg/L. ....	25
Quadro 11 - Taxas de exportação dos poluentes considerados neste estudo. ....	26
Quadro 12 - Precipitação média anual e escoamento médio anual para a albufeira da Apartadura e para a albufeira de Póvoa e Meadas. ....	28
Quadro 13 - Área da albufeira e da bacia hidrográfica, volume médio anual armazenado e caudal médio anual na albufeira da Apartadura e na albufeira de Póvoa e Meadas .....	28
Quadro 14 - Características da Barragem da Apartadura. ....	35
Quadro 15 - Caracterização da Albufeira da Apartadura. ....	36
Quadro 16 - Características da Barragem de Póvoa e Meadas. ....	38
Quadro 17- Caracterização da albufeira de Póvoa e Meadas. ....	39
Quadro 18 - Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira da Apartadura para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006. ....	43
Quadro 19 - Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira da Apartadura para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 e determinação das concentrações de azoto total e azoto inorgânico. ....	45
Quadro 20 - Concentrações médias anuais de azoto total, fósforo total e clorofila a para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, para a albufeira da Apartadura. ....	46
Quadro 21 - Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira de Póvoa e Meadas para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.....	46
Quadro 22- Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira de Póvoa e Meados para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 e determinação das concentrações de azoto total e azoto inorgânico. ....	47
Quadro 23 – Concentrações médias anuais azoto total, fósforo total e clorofila a para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, para a albufeira de Póvoa e Meadas. ....	48
Quadro 24 – Número de efectivos animais extrapolado para a bacia hidrográfica da Apartadura. ....	49

Quadro 25 - Carga de azoto e fósforo, em kg/dia e ton/ano, de origem urbana afluenta à albufeira da Apartadura. ....	49
Quadro 26 - Estimativa de efectivos animais e de carga de azoto e fósforo produzida na albufeira da Apartadura. ....	50
Quadro 27 – Estimativa da carga de fósforo e azoto, em ton/ano, proveniente da actividade agropecuária, afluenta à albufeira da Apartadura. ....	51
Quadro 28 - Áreas das classes de uso do solo da Bacia Hidrográfica da Apartadura .....	52
Quadro 29 - Estimativa da carga de azoto e fósforo de origem difusa afluenta à albufeira da Apartadura. ....	52
Quadro 30 – Estimativa da carga de azoto total e fósforo total afluenta à bacia hidrográfica da Apartadura. ....	53
Quadro 31 - Tipo de tratamento e respectiva percentagem de remoção de CBO <sub>5</sub> .....	56
Quadro 32 - Tipo de tratamento e percentagem de remoção de azoto e fósforo associadas .....	57
Quadro 33 - Carga de azoto e fósforo, em ton/ano, produzida e rejeitada de origem urbana afluenta à albufeira de Póvoa e Meadas. ....	57
Quadro 34 - Carga de azoto e fósforo, ton/ano, de origem industrial afluenta à albufeira de Póvoa e Meadas. ....	57
Quadro 35 – Estimativa da carga de fósforo e azoto, em ton/ano, provenientes da actividade agropecuária, afluenta à albufeira de Póvoa e Meadas. ....	59
Quadro 36 - Estimativa da carga total de fósforo e azoto, de origem tónica produzida na albufeira de Póvoa e Meadas. ....	59
Quadro 37 - Áreas das classes de uso do solo da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas .....	60
Quadro 38 - Estimativa da carga de azoto e fósforo de origem difusa afluenta à albufeira de Póvoa e Meadas. ....	61
Quadro 39 – Estimativa da carga de azoto total e fósforo total afluenta à bacia hidrográfica da Póvoa e Meadas. ....	61
Quadro 40 – Concentrações de azoto total e fósforo total estimadas e medidas para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas. ....	62
Quadro 41 - Carga de fósforo total e de azoto total (g/m <sup>2</sup> .ano) afluentes às albufeiras em estudo e respectivas profundidades médias. ....	64
Quadro 42 - Concentração de azoto inorgânico e fósforo total nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006, para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas. ....	65
Quadro 43 – Concentração média de fósforo, clorofila a e disco de Secchi nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006 para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas. ....	65
Quadro 44 – Média geométrica das concentrações de fósforo total, clorofila a e oxigénio dissolvido nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006, para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas. ....	66
Quadro 45 – Valores de TSI e valores médios de disco de Secchi, concentração de fósforo total e de clorofila a para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas, nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006. ....	66

Quadro 46 – <i>Comparação dos resultados obtidos através da Equação 2 com os valores de Clorofila a registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> .....	71
Quadro 47 – <i>Comparação dos resultados obtidos através da Equação 3 com os valores de clorofila a registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> .....	71
Quadro 48 – <i>Comparação dos resultados obtidos através da Equação 4 com os valores de clorofila a registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.</i> .....	72
Quadro 49 - <i>Variação entre a concentração de clorofila a estimada e a medida (valor máximo e valor médio) na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.</i> .....	74



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. EUTROFIZAÇÃO - DEFINIÇÃO

O enriquecimento excessivo em nutrientes das massas de água naturais conduzindo à sua eutrofização, é um processo conhecido por ter a capacidade de alterar a qualidade da água, equilíbrio e função das comunidades biológicas presentes no ambiente aquático. Se este estado tiver resultado de actividades humanas, a obtenção do “bom estado ecológico” irá necessitar de uma diminuição nas cargas de nutrientes afluentes à massa de água de origem antropogénica (Hecky & Kilham, 1988; OCDE, 1982; Schindler, 1975 citados em Haygarth *et al.*, 2003) (E. E. Agency, 2005).

A eutrofização afecta todos os tipos de massas de águas desde águas interiores superficiais, rios, lagos e albufeiras, a águas de transição, águas costeiras e ecossistemas em mar alto (E. E. Agency, 2005).

### 1.2. CAUSAS DA EUTROFIZAÇÃO (PRINCIPAIS NUTRIENTES)

A eutrofização é causada em larga escala pelo afluxo de nutrientes, como o azoto (N) e o fósforo (P), para o ambiente aquático, sobretudo originados por actividades humanas (E. E. Agency, 2005).

Em águas doces, o fósforo é o nutriente, amplamente aceite, como limitante, portanto o controlo dos afluxos de fósforo é considerado como fundamental para a reversão do estado trófico das massas de águas (Hecky & Kilham, 1988; OCDE, 1982; Schindler, 1975 citados em Haygarth *et al.*, 2003) (E. E. Agency, 2005).

Estudos realizados durante os últimos 10 anos pela Agência Europeia do Ambiente (EEA) apresentaram resultados sobre a contribuição sectorial do azoto e do fósforo para a poluição aquática, ou seja, a afluência de cargas de azoto e fósforo provenientes de diferentes sectores, às massas de água (E. E. Agency, 2005).

A parte Norte e Ocidental da Europa possui, de um modo geral, boa cobertura em relação a estudos de distribuição de cargas de nutrientes, mas relativamente aos países do Mediterrâneo e do Oriente existe ainda défice de informação nesta área (E. E. Agency, 2005).

De uma forma geral, todas as formas de poluição são uma séria ameaça à biodiversidade sendo a sobrecarga de nutrientes – em particular de azoto e fósforo – a principal causa da perda de biodiversidade e disfunção dos ecossistemas, sendo simultaneamente a causa que se encontra ainda em contínuo crescimento. A sobrecarga de nutrientes aumentou consideravelmente ao longo do último século. A utilização de fertilizantes agrícolas em larga escala e o desenvolvimento industrial causaram alterações sem precedentes no ciclo global do azoto e contribuíram para a introdução de azoto em excesso nos sistemas ambientais (E. E. Agency, 2012).

### 1.2.1. ORIGENS NATURAIS E ANTROPOGÉNICAS DE AZOTO E FÓSFORO

#### CARGAS DIFUSAS DE ORIGEM AGRÍCOLA

Na maior parte da Europa, a agricultura é uma das maiores fontes antropogénicas de poluição, e a principal responsável pela poluição por azoto e fósforo. O peso do sector agrícola na contribuição para a poluição, tem vindo a decrescer como resultado das medidas de redução das fontes de poluição pontual, tomadas durante a última década. Estima-se que a poluição difusa proveniente da actividade agrícola varie de 0 a 30 kg/ha.ano para o azoto e de 0 a 1kg/ha.ano para o fósforo. As regiões da Europa onde se registaram as maiores cargas de azoto e fósforo são o Norte e Oriente, sendo regiões onde a actividade agrícola se realiza de modo intensivo, com uma utilização média de fertilizantes por país, de cerca de 40-70 kg/ha de azoto e 8-13 kg/ha de fósforo (Fao citado em E. E. Agency, 2005).

Em larga escala, a agricultura é a fonte dominante de poluição por azoto, contribuindo com cerca de 50-80% para a carga total de azoto afluente a uma massa de água. Contudo esta contribuição pode variar em áreas com fraca densidade populacional ou com tratamentos adequados de águas residuais e industriais.

A poluição por azoto, em combinação com outro tipo de pressões, como alterações de habitats, presença de espécies invasivas, sobreexploração e alterações climáticas, provoca a diminuição da resistência dos ecossistemas levando à perda da biodiversidade. Em particular os sistemas aquáticos e agrícolas encontram-se sobre grande pressão devido à sobrecarga de azoto. Metade dos agro-ecossistemas e um terço dos lagos e rios com ecossistemas importantes da Europa apresentam condições de conservação desfavoráveis (E. E. Agency, 2012).

A poluição dos cursos de água é um dos principais factores de ameaça à diversidade de lagos e rios, sendo as cargas poluentes de azoto provenientes da agricultura o factor chave na maior parte dos países da Europa (E. E. Agency, 2012).

Apesar da substancial redução nas cargas poluentes de azoto provenientes de vários sectores, e das investigações das últimas duas décadas, as cargas críticas de azoto continuam a ser excedidas em muitas zonas da Europa (E. E. Agency, 2012).

A concentração de nutrientes nas massas de água superficiais tem vindo a diminuir lentamente. A concentração média de azoto nos rios da Europa diminuiu cerca de 10% entre 1992-2008, como resultado das medidas de redução das emissões de azoto provenientes da agricultura. No entanto, devido aos efeitos cumulativos das emissões de azoto ao longo do tempo, é expectável que a recuperação da qualidade das massas de água ocorra gradualmente. A recuperação substancial da qualidade da água, resultante da implementação contínua de todas as medidas correctivas da Directiva dos Nitratos (91/676/EEC), demorou entre 4 a 8 anos a revelar resultados na Alemanha e Hungria, e décadas nas águas subterrâneas da Holanda (E. E. Agency, 2012).

A poluição por azoto proveniente dos sectores da energia e dos transportes está em contínuo declínio, mas a agricultura é agora identificada como o sector com o maior potencial de redução de emissões de azoto. Desta forma, o objectivo consiste em diminuir o excesso de azoto, e ao mesmo

tempo aumentar a produção de alimentos para satisfazer as necessidades globais. O cumprimento deste grande desafio passa por três acções chave no sector da agricultura, que foram identificados como fundamentais na redução da poluição por azoto: aumento da eficiência na utilização do azoto nas produções agrícolas, aumento da eficiência da produção agro-industrial e aumento da utilização do estrume animal como fertilizante (E. E. Agency, 2012).

A agricultura biológica, com baixa emissão de nutrientes pode desempenhar um papel fundamental na resposta ao desafio que se enfrenta neste sector. Esta prática agrícola tem potencial para preservar a biodiversidade dos ecossistemas, através da redução da poluição de azoto bem como da promoção dos benefícios associados à rotatividade das práticas agrícolas ou das práticas da agricultura intensiva. Desde os anos 90 que se assistiu a um rápido desenvolvimento da agricultura biológica, sendo que desde essa data até 2004, 6,5 milhões de hectares de terra na Europa foram cultivados biologicamente. Entre 2005 e 2008, a percentagem de áreas agrícolas cultivadas biologicamente na Europa aumentou 21% (E. E. Agency, 2012).

Apesar das técnicas orgânicas da agricultura biológica oferecerem mecanismos de redução de emissão de azoto, e consequentemente diminuir os impactos sobre o ambiente, a produtividade pode ser consideravelmente mais baixa do que as terras agrícolas geridas com práticas agrícolas convencionais. Será necessário realizar modificações às técnicas agrícolas orgânicas, de forma a melhorar a produtividade e a eficiência da produção, mas mantendo o reduzido impacto sobre a biodiversidade e os ecossistemas. Estas melhorias irão representar uma das muitas acções necessárias para garantir a resiliência da biodiversidade na Europa (E. E. Agency, 2012).

A agricultura é também umas das principais contribuintes para a carga de fósforo, através de várias fontes pontuais e também difusas de poluição. Mas ao contrário do azoto, verificam-se grandes diferenças de cargas, de região para região. A contribuição da agricultura é de cerca de metade da carga total de fósforo afluente à massa de água, entre 25 a 75%. A carga de fósforo depende do número de fontes pontuais que são consequência da densidade populacional, da actividade industrial e do tratamento ineficaz dos efluentes (E. E. Agency, 2012).

#### DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

Tanto o azoto com o fósforo são depositados na massa de água e no solo de diferentes formas: azoto na forma de amónia, proveniente do estrume dos animais, e óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) proveniente da combustão de combustíveis fósseis; o fósforo é depositado na forma de pó, folhas e fezes de aves.

A atmosfera é constituída por cerca de 80% de azoto, na forma N<sub>2</sub>, que ao ser “fixado” pelos microrganismos fica disponível na cadeia alimentar de plantas e animais. Este processo natural de fixação, acrescido dos fertilizantes de origem industrial e da queima de combustíveis fósseis que emitem grandes quantidades adicionais de óxido de azoto, contribuí fortemente para a massa de azoto afluente aos vários ecossistemas (E. E. Agency, 2012).

A deposição atmosférica anual de óxidos de azoto varia entre 1 e 10kg/ha. A quantidade de nutrientes que se depositam no solo, por deposição atmosférica, não é considerada separadamente

nas estimativas das cargas afluentes, no entanto acaba por ser contabilizada aquando da determinação das escorrências dos solos. A deposição directa de nutrientes de origem atmosférica na massa de água pode ser muito significativa, quando esta é também de dimensões consideradas.

A deposição do fósforo é geralmente reduzida e de difícil contabilização. As estimativas realizadas na Europa indicam uma gama de valores entre 0,05 e 0,50 kg/ha.ano. Por comparação, na agricultura intensiva são aplicados anualmente como fertilizantes, em média, cerca de 8 a 13kg/ha de fósforo (E. E. Agency, 2005).

#### POPULAÇÃO RURAL

A maior parte das habitações de uma população rural encontram-se geograficamente dispersas e frequentemente não possuem rede de esgotos. A água residual é normalmente descarregada directamente na superfície da massa de água ou num sistema de percolação, através de uma fossa séptica ou outro sistema de purificação. As habitações dispersas são a principal fonte pontual, mas devido à sua abundância são consideradas como fonte de poluição difusa, sendo por vezes, as suas cargas contabilizadas juntamente com a poluição de origem agrícola.

As cargas de azoto e fósforo provenientes de habitações dispersas são pouco significativas. Geralmente a carga de azoto proveniente destas fontes é menor do que a carga perdida naturalmente pelo solo e muito menor do que as cargas provenientes de solos agrícolas. A carga de fósforo também é pequena, na mesma ordem de grandeza que a proveniente do solo natural, e em algumas áreas não é significativa.

As descargas anuais das habitações dispersas são cerca de 0,1 a 0,5 kg/ha de azoto e 0,01-0,1 kg/ha para o fósforo (Ospar & Helcom citados em E. E. Agency, 2005).

#### FONTES PONTUAIS

Na Europa, as descargas realizadas pelas estações de tratamento de águas residuais urbanas contribuem em cerca de 75% para a carga total de nutrientes afluente a uma massa de água, enquanto as descargas industriais contribuem em apenas 17%. No entanto, localmente e em bacias hidrográficas pequenas, todas as fontes pontuais são significativas e necessitam de ser controladas para uma gestão eficaz da poluição (Guerreiro & Pereira, 2002).

#### 1.2.2. FORMAS DE AFLUÊNCIA ÀS MASSAS DE ÁGUA

A principal forma de afluência de nutrientes causadores de poluição, nomeadamente o azoto e o fósforo, é o escoamento proveniente de fontes pontuais ou fontes difusas.

Como referido anteriormente, a agricultura é a principal fonte de poluição de azoto, contribuindo significativamente, cerca de 50% a 80%, para a massa total de azoto que aflui a uma massa de água (E. E. Agency, 2005).

Para a carga de fósforo afluente à massa de água, a principal fonte de poluição são as águas residuais domésticas e industriais.



A carga de azoto por unidade de área (kg N/ha.ano) aumenta com a existência de maior número de actividades humanas, mas em particular com o aumento da produção agrícola.

No caso do fósforo, verifica-se que a carga deste nutriente por unidade de área (kg P/ha.ano) é maior em regiões densamente populacionais, comparativamente com regiões de baixa densidade populacional e baixa percentagem de áreas agrícolas. A carga de fósforo afluente às massas de água tem como principal fonte os efluentes domésticos e industriais, sendo esta relação evidente nos estudos efectuados em zonas densamente populacionais, como por exemplo a Europa Central e Oriental, onde as cargas de fósforo são muito superiores às verificadas nas zonas de baixa densidade populacional, como por exemplo, a zona envolvente do Mar Báltico (E. E. Agency, 2005).

Durante as três últimas décadas, algumas peças da legislação da UE e de acordos internacionais têm sido dirigidos à poluição dos ecossistemas aquáticos por nutrientes, como por exemplo, a directiva do tratamento de efluentes urbanos (Directiva 91/271/EEC) e a directiva dos nitratos (Directiva 91/676/EEC). A Convenção de Paris e a Convenção de Helsínquia têm como objectivo a protecção do Meio Marinho das fontes de poluição proveniente das áreas do Mar do Norte e da zona do Mar Báltico, respectivamente. Ambas as convenções adoptaram metas de redução das cargas de azoto e fósforo de 50% onde essas cargas pudessem, directa ou indirectamente, causar eutrofização da massa de água.

O maior controle sobre os efluentes domésticos e industriais e o tratamento eficaz dos mesmos conduziram a uma redução significativa nas cargas de fósforo.

As descargas de azoto provenientes de fontes pontuais diminuíram significativamente devido à implementação das directivas e convenções anteriormente referidas e às medidas de redução do excesso de azoto nas áreas agrícolas. Contudo, as perdas por fontes difusas não permitiram ainda, atingir os objectivos definidos para as cargas de azoto afluentes às massas de água

Segundo Lourenço (2002), o motivo pelo qual não foram ainda atingidos os níveis recomendados de qualidade da água deve-se ao facto do controlo e do conhecimento da poluição difusa, como factor da preservação dos recursos hídricos, ser ainda muito reduzido (Reddy & Flaig, 1995 citados por Diogo *et al.*, 2003).

No entanto, para atingir a eficácia desejada pelas políticas e acordos europeus, e até para identificar possíveis lacunas, é fundamental conhecer a forma como se distribui a carga de nutrientes por unidade de área dos vários sectores e actividades. Os resultados dos estudos efectuados sobre cargas afluentes são fundamentais no processo de formulação de políticas, na sua monitorização e implementação, bem como na eficácia das medidas posteriormente tomadas.

### 1.2.3. ESTIMATIVA DAS CARGAS AFLUENTES EM FUNÇÃO DAS ACTIVIDADES NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS – MÉTODOS UTILIZADOS

A dificuldade de caracterização e quantificação das cargas poluentes difusas introduzidas numa rede hidrográfica, adicionadas ao facto de em Portugal o desenvolvimento do estudo desta matéria ser recente, levou a que a avaliação destas cargas assentasse muitas vezes em hipóteses

simples e com recurso a metodologias expeditas desenvolvidas noutros países (Lourenço, 2002 citado por Diogo *et al.*, 2003). No entanto, alguns autores têm realizado esforço no estudo desta matéria (Castro, 1986; Heitor, 2000; Santos, 2000; Ribeiro, 2002; Rodrigues *et al.*, 2002; Lourenço, 2002 citados por Diogo *et al.*, 2003) e têm sido realizados alguns trabalhos no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica e do Plano Nacional da Água (MAOT 2001). Os resultados obtidos nos modelos matemáticos de simulação de cargas difusas são de difícil avaliação devido à pouca disponibilidade de dados, impossibilitando a validação dos resultados obtidos. Por este motivo, a utilização de métodos mais simples na quantificação de cargas com origem difusa, podem conduzir a resultados mais fiáveis do que abordagens mais complexas (Rodrigues *et al.*, 2002 citado por Diogo *et al.*, 2003).

A degradação da qualidade de água na região do Alentejo tem como principal causa a actividade agrícola, originadora de grande parte dos nutrientes de origem difusa que afluem às massas de água. As práticas agrícolas adoptadas, aliadas às características do solo e ao regime hidrológico torrencial da região, contribuem significativamente para o arrastamento de nutrientes para as massas de água. De acordo com o Anuário dos Recursos Hídricos do Alentejo 2001/2002, realizado pela Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território da região do Alentejo, 14 das 21 albufeiras avaliadas foram classificadas como eutróficas (Diogo *et al.*, 2003).

A estimativa das cargas de nutrientes afluentes a uma albufeira pode ser determinada por duas metodologias:

- Determinação das cargas ou perdas difusas através da diferença entre a concentração medida na massa de água e registada através da estação de monitorização, e a carga rejeitada pela fonte fixa, medida a montante da estação de monitorização.

- Fontes Difusas = Concentração medida na estação de monitorização – Concentração medida na Fonte de Emissão (+ Retenção e Perdas no rio)

As estimativas das perdas num rio incluem o cálculo das perdas até à fonte de emissão (antes da retenção).

- Determinação das cargas difusas através de estimativas usando coeficientes de exportação para usos do solo de características semelhantes. As perdas que ocorrem num solo natural podem ser estimadas usando coeficientes de exportação de solos bem definidos e as perdas agrícolas podem ser estimadas usando coeficientes de exportação de solos com características agrícolas semelhantes. As perdas e a retenção no rio podem ser subtraídas, de forma a determinar a concentração total na foz (após retenção).

- Fontes Totais = Fontes Pontuais (cargas medidas/estimadas) + Fontes Difusas (cargas estimada) (- Retenção e Perdas no rio)

Ambas as abordagens consideram que as cargas provenientes de fontes pontuais são determinadas usando os valores medidos nesses efluentes ou, por vezes, usando valores padronizados de carga produzida *per capita* (Diogo *et al.*, 2003).

A determinação das cargas afluentes à massa de água pode ser efectuada por uma diversidade elevada de cálculos distintos. No projecto Euroharp, Schoumans & Silgram (2003) apresentaram uma revisão dos diferentes tipos de instrumentos de quantificação de cargas de nutrientes nos rios. Diferiam na sua complexidade e na sua resolução no tempo e no espaço, e necessitavam de diferentes níveis de detalhe relativamente à informação (Diogo *et al.*, 2003).

Os estudos de determinação de cargas afluentes, acima mencionados, apresentam diferenças profundas no cálculo das cargas de nutrientes de origem difusa, provenientes de áreas rurais, que afluem às massas de água. A diferença observa-se ao nível dos seguintes factores: (i) o seu nível de complexidade; (ii) as suas representações de sistemas, processos e caminhos; (iii) os meios necessários (informação e tempo). Os diversos instrumentos de quantificação podem variar entre modelação de processos - que normalmente exigem informação específica - a semi-empíricos (conceptuais), meta-modelos com alguns coeficientes de exportação e abordagens baseadas em balanços minerais e divisão entre zonas fluviais e medição de cargas. Todos os instrumentos apresentam pontos fracos e pontos fortes, devendo a selecção do instrumento ser baseada no objectivo e características do estudo (Diogo *et al.*, 2003).

#### ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL DE ORIGEM DIFUSA – MÉTODO DAS TAXAS DE EXPORTAÇÃO DE POLUENTES

As contaminações provenientes de fontes não pontuais ou difusas caracterizam-se, por um lado, pelo elevado número de pontos de descarga no terreno e, por outro, pela dificuldade de localização precisa das zonas onde se produzem essas mesmas descargas. As medidas de controlo associadas a estas fontes são de difícil identificação (Guerreiro & Pereira, 2002).

Como alternativa a dispendiosas campanhas de amostragem, diversas técnicas de simulação podem ser utilizadas na quantificação das contribuições difusas para as águas superficiais, desde simples funções de carga até modelos de simulação mais complexos (Donigian & Huber, 1991 citado por Diogo *et al.*, 2004). Novotny (1994) propôs cinco níveis diferentes de modelos de simulação: I) procedimentos estatísticos simples e cargas unitárias sem interacção com processos físicos e químicos; II) procedimentos simplificados com alguma interacção com processos físico-químicos; III) modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos; IV) modelos sofisticados de eventos e IV) modelos contínuos sofisticados.

Para modelos de simulação mais complexos é necessário um maior número de dados para caracterizar as variáveis do problema. Torna-se, portanto, mais eficaz a implementação de métodos mais simples, do tipo nível I ou II, desde que os objectivos estipulados não fiquem comprometidos. Este tipo de abordagem, relativamente pouco exigente em termos de informação de base, permite uma primeira avaliação do problema, com base na qual se pode avançar para estudos mais

aprofundados, em zonas identificadas como mais críticas do ponto de vista da poluição difusa (Novotny (1994) citado por Diogo *et al.*, 2004).

Em Portugal, o controlo da poluição de origem tópica está ainda longe de ser resolvido, com muitas situações por solucionar, o que explica o facto do desenvolvimento de estudos relativos à avaliação e consequência da poluição difusa nas massas de água superficiais ser ainda bastante reduzido. Contudo, nos últimos anos têm vindo a ser desenvolvidos alguns estudos sobre poluição de origem difusa (Diogo *et al.*, 2004; Diogo *et al.*, 2003 e Robalo, 2001) devido ao reconhecimento da sua importância para a qualidade dos recursos hídricos nacionais.

Uma das formas de determinar a carga poluente com origem difusa, é através do método das Taxas de Exportação de Poluentes, que permite estimar as cargas de azoto total e fósforo total de origem difusa afluentes às massas de água superficiais, através da utilização de cargas unitárias, atribuídas de acordo com o uso do solo e a respectiva distribuição pelas bacias hidrográficas em estudo. A carga total poluente é obtida pela multiplicação das cargas unitárias pelas áreas parciais de cada categoria de solo por unidade de tempo (Equação 1) (Diogo *et al.*, 2003).

$$CT_i = \sum (C_{ij} \cdot A_j) \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

CT<sub>i</sub> – carga total do poluente i, afluente à secção de referência

C<sub>ij</sub> – carga do poluente i, por unidade de área e de tempo na categoria de solo j (taxa de exportação)

A<sub>j</sub> – área de solo na categoria j.

A cada classe de uso do solo corresponde uma taxa de exportação de azoto e fósforo por unidade de área.

Na literatura consultada não foram encontradas referências a taxas de exportação especificamente desenvolvidas para Portugal.

#### 1.2.4. CARGAS COM PERIGO DE EUTROFIZAÇÃO

A relação entre a carga anual de nutrientes que aflui a uma albufeira e a concentração de fósforo e de azoto no seio da massa de água é fundamental para entender e controlar a eutrofização. Em 1968, Vollenweider demonstrou que era possível comparar albufeiras de várias dimensões, se a carga afluente à albufeira for apresentada como concentração de nutriente por unidade de área.

Vollenweider realizou estudos em cerca de 30 lagos com diferentes estados tróficos (grau de eutrofização inicialmente identificado apenas por observações limnológicas), concluindo que a fronteira entre o estado oligotrófico e o estado eutrófico se situa em cerca de 0,2-0,5 g P/m<sup>2</sup>.ano para o fósforo total e 5-10 g N/m<sup>2</sup>.ano para o azoto total. Contudo, a concentração de nutrientes na massa de água depende não só das cargas afluentes à albufeira mas também de factores morfométricos, hidrológicos e principalmente da sua profundidade (Harper, 1992).

Após compreender que a concentração de nutrientes na albufeira é determinada pelos factores atrás referidos, Vollenweider (1976) apresentou valores de carga “permisível” e “perigosa”

(também designada por “crítica”) de nutrientes em função da profundidade média das albufeiras (Quadro 1).

**Quadro 1** – Cargas máximas permissíveis e com perigo de eutrofização de fósforo total e de azoto total para diferentes profundidades médias de lagos e albufeiras (Vollenweider, 1976 citado por Harper, 1992)

Profundidade média superior a	Carga Máxima Permissível (g/m <sup>2</sup> .ano)		Carga Máxima Perigosa (g/m <sup>2</sup> .ano)	
	Fósforo	Azoto	Fósforo	Azoto
5 m	0,07	1,0	0,13	2,0
10 m	0,1	1,5	0,2	3,0
50 m	0,25	4,0	0,5	8,0
100 m	0,4	6,0	0,8	12,0
150 m	0,5	7,5	1,0	15,0
200 m	0,6	9,0	1,2	18,0

Os estudos elaborados posteriormente ao modelo proposto por Vollenweider permitiram consolidar o conhecimento da relação entre a carga afluente e a profundidade, mas os limites entre cargas “permissíveis” e “perigosas” não sofreram alterações.

#### 1.2.5. CARACTERIZAÇÃO DOS DIFERENTES ESTADOS TRÓFICOS

As massas de água são classificadas, relativamente à sua riqueza em nutrientes, numa escala que varia entre a oligotrofia e a eutrofia.

A sobrecarga de nutrientes está directamente relacionada com o aumento da taxa de crescimento dos microrganismos aquáticos, e com a taxa de aumento da produtividade da massa de água, em relação à que existiria caso o sistema não tivesse sido perturbado. A taxa de produtividade pode ser facilmente medida através da quantidade de carbono assimilada pelas algas e pelas plantas vasculares da massa de água, sendo que a taxa de produtividade aumenta com a quantidade de carbono.

Os principais factores que permitem a transição de um estado menos produtivo para outro mais produtivo são o fósforo e o azoto. As algas e as macrófitas aquáticas apresentam geralmente a seguinte constituição de matéria orgânica (Vallentyne, 1974 citado por Wetzel, 1993):

(1P: 7N: 40C) por 100g de peso seco, ou 500g de peso húmido.

A importância do azoto e do fósforo na produtividade das massas de água é evidente quando são comparadas as quantidades relativas dos diferentes nutrientes, necessários ao desenvolvimento das algas, com as quantidades dos mesmos disponíveis na massa de água doce. A razão entre a necessidade nutricional das algas, e a disponibilização desses mesmos nutrientes na massa de água doce, é de 80 000 para o fósforo e 30 000 para o azoto, valores muito superiores aos verificados

para outros nutrientes como o carbono (5 000), o magnésio (<1 000) ou o sódio (<1 000) (Wetzel, 1993).

Os critérios quantitativos das sobrecargas em nutrientes azoto e fósforo e as condições tróficas esperadas para as massas de água foram definidos por Vollenweider (1966, 1968). Aquele autor estabeleceu os limites de concentração de azoto e fósforo para os diversos estados tróficos a partir das relações entre a sobrecarga de nutrientes e a profundidade média dos lagos atrás referidos. O factor de maior preocupação no modelo elaborado e nos critérios associados, é o fósforo, uma vez que este é o nutriente que primeiro se torna limitante para as algas, como indicado anteriormente, e porque a medição precisa das sobrecargas de azoto é difícil de obter (devido aos vários processos que constituem o ciclo do azoto) (Wetzel, 1993).

A classificação definida por Vollenweider serviu de base a outros investigadores (Rast & Lee, 1978; Canfield & Bachmann e outros, 1981) permitindo quantificar, avaliar e estabelecer relações de sobrecarga de nutrientes/resposta de eutrofização para muitos lagos e albufeiras.

Os estudos realizados em diversos lagos e albufeiras permitiram a elaboração de uma classificação geral do seu estado trófico, constituída pelos seguintes níveis (do menos produtivo para o mais produtivo): oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico.

A avaliação do estado trófico das massas de água, e da sua tendência para se tornarem mais ou menos eutrofizadas e, conseqüentemente, determinam se a sua água é própria ou imprópria para abastecimento ou usos recreativos, baseiam-se em critérios cuidadosamente estabelecidos (CCDRA s.d.).

A literatura está repleta de índices para classificar o estado trófico e a qualidade das albufeiras. Porcella *et al.* (1980) encontrou trinta fontes diferentes de critérios para a classificação do estado trófico e ainda existem outros. No entanto, os objectivos para a qualidade das massas de água podem estar em conflito, pois o aspecto estético agradável, a limpeza, a água azul das albufeiras oligotróficas está normalmente associado à baixa produção de peixes (mas não necessariamente de pequenas dimensões). É necessário estabelecer um compromisso entre a qualidade da água mais favorável à produção piscícola (meso, meso-eutrófica ou até eutrófica) e as condições estéticas imprescindíveis aos usos secundários das albufeiras (natação, navegação).

### 1.3. CONSEQUÊNCIAS DA EUTROFIZAÇÃO

#### 1.3.1. INFLUÊNCIA SOBRE O EQUILÍBRIO BIOLÓGICO DOS ECOSISTEMAS – OCORRÊNCIA DE BLOOMS FITOPLANTÓNICOS

A eutrofização contribui para inúmeras alterações ecológicas que afectam a qualidade da água como *blooms* de fitoplâncton que conduzem à diminuição do aspecto estético e recreativo, redução do oxigénio dissolvido, diminuição da transparência e menores aptidões para as actividades de pesca com efeito, a redução da transparência da água devido aos *blooms* de fitoplâncton pode causar indirectamente reduções nas potencialidades para a actividade de pesca por anzol.

Alguns *blooms* de algas podem resultar na libertação de toxinas e também de odores e sabores que tornam a água menos própria para consumo. Em lagos eutróficos ocorrem com frequência *blooms* de cianobactérias e determinadas espécies podem produzir hepatotoxinas ou neurotoxinas, como as microscistinas e as anatoxinas.

Os problemas do odor e do sabor provocados pelos *blooms* de fitoplâncton tem sido um grande incómodo em albufeiras cuja água é captada para consumo humano. Os efeitos secundários na saúde são provenientes do contacto do cloro utilizado no tratamento das águas com o elevado teor de matéria orgânica da água nas albufeiras com excesso de fitoplâncton. Compostos organoclorados cancerígenos podem ser encontrados em concentrações significativas em muitas águas de abastecimento público, particularmente quando a adição de cloro é feita anteriormente à floculação. A implementação de medidas de controlo desta situação tem efeitos no custo de tratamento para produção de água para consumo humano, que é superior em águas eutróficas que em massas de águas não poluídas, devido à necessidade de processos de tratamento complementares ou mais elaborados.

O dispendioso tratamento por carvão activado, os regulares tratamentos de desinfecção e a renovação dos filtros das estações de tratamentos de água, provocam um aumento do preço da água que é distribuída aos consumidores (Environmental Protection Agency, 2004).

### 1.3.2. INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA E AMBIENTE AQUÁTICO

#### RELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES E CLOROFILA A E ENTRE NUTRIENTES E TRANSPARÊNCIA

A relação existente entre a clorofila *a* e o fósforo foi identificada e passou a ser alvo de estudo por volta dos anos 60. Em 1966, Skamato realizou um estudo sobre a produtividade de lagos japoneses com diferentes profundidades, mostrando uma estreita relação entre o valor médio de clorofila *a* e os nutrientes fósforo total e azoto total (Harper, 1992).

Lund (1970) demonstrou ainda a existência de uma estreita relação entre a concentração máxima de fósforo solúvel no inverno e a concentração máxima de clorofila *a* no verão (Harper, 1992).

Dillon & Rigler (1974), ao analisarem lagos do Norte da América e da Europa, verificaram a existência de relação entre os valores do fósforo total na primavera com os valores médios de clorofila *a* no verão. Analisaram os valores de fósforo total e azoto total de 19 lagos canadianos, representativos dos vários tipos de lagos. Da informação recolhida nos dois estudos, definiram uma equação (Equação2) que relaciona a concentração média de clorofila *a* com a concentração do fósforo total na primavera (Harper 1992). A equação definida pode assim, ser utilizada para prever a concentração de clorofila *a* nas massa de água, se o valor da concentração do fósforo total na primavera for conhecido.

$$\text{Log}_{10}[\text{clorofila } a] = 1,449 \log_{10} [\text{TP}] - 1,136 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que a concentração média da clorofila *a* é expressa em mg/m<sup>3</sup> e a concentração de fósforo total [TP] é expressa em µg/l.

Também com o objectivo de criar um modelo capaz de prever a concentração da clorofila *a* nas massas de água, Jones & Bachmann propuseram, em 1976, a Equação 3:

$$\text{Log} [\text{clorofila } a] = 1,46 \log [\text{TP}] - 1,09 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que a concentração de clorofila *a* é expressa em mg/m<sup>3</sup> e diz respeito a valores médios de verão, e a concentração de fósforo total [TP] é expressa em µg/l e é também referente aos valores médios de verão (Cooke *et al*, 1993).

O azoto total não é um indicador frequentemente utilizado nas relações com a clorofila *a*, nem é normalmente utilizado nos modelos de previsão da concentração de clorofila *a*. No entanto, este nutriente pode ser um indicador eficaz de controlo de produtividade, para os casos excepcionais de massas de águas muito eutrofizadas. Tendo em consideração este facto, Smith (1982) apresentou uma equação de previsão da clorofila *a* com base na relação desta com o fósforo total e o azoto total (Equação 4) (Cooke *et al*, 1993).

$$\text{Log} [\text{clorofila } a] = 0,6531 \log [\text{TP}] + 0,548 \log [\text{TA}] - 1,517 \quad (\text{Equação 4})$$

Em que a concentração média da clorofila *a* é expressa em mg/m<sup>3</sup> e as concentrações de fósforo total [TP] e azoto total [TA] expressas em µg/l.

A Equação 4 poderá apresentar-se mais eficaz na previsão de concentrações de clorofila *a* para massas de água com elevado grau de eutrofização, do que se forem utilizados modelos que considerem apenas o fósforo total. Um exemplo desta situação foi demonstrado por Smith (1982), para o Lago Moses, WA, em que com a aplicação da Equação 4 previu uma concentração de clorofila *a* de 21 ±9 µg/l, enquanto numa relação baseada apenas no fósforo total previu uma concentração de 50 ±23 µg/l. O valor de clorofila *a* efectivamente medido no lago foi de 23 ±11 µg/l.

No entanto, alguns desvios nas previsões podem ser devidos à variação da concentração de clorofila *a* nas células. Ahlgren *et al*. (1988), ao compararem vários tipos de relações entre fósforo total e clorofila *a*, identificaram desvios nas previsões provocados pela variação de clorofila *a* nas células (0,5 a 2% do peso seco) e atribuíram esta situação a factores como luz, nutrição e também ao facto de algum do fósforo total medido poder não se encontrar nas células. Esta situação explicava o facto da razão entre clorofila *a* e fósforo total e o declive da recta de regressão poderem variar entre 1,0 e 0,5. As relações com declives superiores a 0,5 eram presumivelmente atribuídas a medições de fósforo não-celular. Contudo, em 1989 Prairier *et al*. descobriram que a variação do declive nas



relações clorofila *a* – fósforo total (e clorofila *a* – azoto total) dependiam dos rácios de azoto total - fósforo total da água. (Harper, 1992).

O facto da maior parte das relações fósforo total - clorofila *a* usarem grandes quantidades de informação e por isso serem normalmente relacionados de forma logarítmica, devido à grande variabilidade de dados, a exactidão da previsão das concentrações na massa de água não é muito elevada. Por exemplo, para uma concentração de clorofila *a* de 5,6 µg/l (10 µg/l fósforo total) o erro de previsão pode ser de  $\pm 60$  a 170% e 30 a 40%, para graus de confiança de 95 e 50%, respectivamente. Os coeficientes de correlação elevados entre fósforo total e clorofila *a*, tendem a desviar o cerne do problema, que pode estar associado às características da massa de água como variações sazonais de clorofila *a* nas células, e a outros factores limitantes como a luz e a disponibilidade de azoto (Ahlgren *et al.* citado por Cooke *et al.*, 1993).

A afluência de maior caudal às albufeiras durante o inverno e a primavera, provoca o aumento da concentração de fósforo na massa de água, valor que tende a ser residual durante o verão, diminuindo nesta estação, a probabilidade de medições de fósforo não algal. Desta forma, o estado trófico de uma albufeira é normalmente definido tendo em consideração os valores médios de concentração de azoto total e clorofila *a* de verão (Cooke *et al.*, 1993).

A comparação das relações entre o fósforo e o fitoplâncton, realizado por Nicholls & Dillon, em 1978 nos lagos de Ontário, permitiram concluir que o volume médio das células do fitoplâncton no verão, era mais fiável como indicador de biomassa do que a clorofila *a* (Harper, 1992).

Vários autores tentaram refinar as correlações identificadas entre o fósforo e o fitoplâncton, introduzindo nas regressões o factor azoto ou razões azoto-fósforo. Anteriormente Sakamoto (1966) verificou que a quantidade de biomassa de fitoplâncton dependia da razão N:P. Para razões superiores a 17:1 a biomassa tinha o fósforo como nutriente limitante, e com razões inferiores a 9:1 era o azoto o limitante. Esta relação é influenciada também pela área da massa de água que se encontra coberta por macrófitas, uma vez que estas competem com o fitoplâncton pelos nutrientes (Harper, 1992).

A biomassa algal natural também foi investigada, mostrando que quanto maior a concentração de fósforo, menor é a proporção de nanoplâncton. Em 1970, Lund apresentou relações entre a quantidade de biomassa de fitoplâncton e o fósforo, mostrando que esta relação vai ficando menos válida à medida que a concentração de fósforo aumenta. Observou-se que a concentração de clorofila *a* deixa de aumentar, mantendo-se num patamar de valores constantes, para concentrações de fósforo de cerca de 50-100 µg/l, devido principalmente aos mecanismos de auto-protecção da massa de água. Este mecanismo está relacionado o aumento da população fitoplanctónica que conduz a uma diminuição das condições de luminosidade necessárias ao desenvolvimento da biomassa, independentemente da limitação de nutrientes na massa de água.

A biomassa algal é normalmente o maior factor condicionante da transparência da água das albufeiras, principalmente durante as estações de crescimento nas zonas temperadas. Alguns estudos mostraram que os lagos artificiais apresentam turvação não-algal superior à dos lagos

naturais, e portanto é preferível que sejam tratados separadamente. Contudo, em ambos os lagos, existe uma forte relação entre transparência e biomassa, normalmente expressa pela profundidade de penetração do disco de Secchi *versus* clorofila *a* (Harper, 1992).

#### RELAÇÃO ENTRE A EUTROFIZAÇÃO E A ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA DAS MASSAS DE ÁGUA – RECICLAGEM INTERNA DOS NUTRIENTES NAS ALBUFEIRAS

Com o aumento da temperatura nos meses de verão, as águas superficiais são aquecidas pela radiação solar mais rapidamente do que o calor se distribui pela coluna de água. À medida que a água superficial aquece, a resistência à mistura completa da massa de água é também maior, conduzindo à estratificação da massa de água e à formação de três zonas (Wetzel, 1993):

- i. *Epilimnion*: estrato superior de água menos densa, mais ou menos uniformemente aquecida, que circula e possui alguma turbulência.
- ii. *Hipolimnion*: estrato inferior de água mais densa, mais fria e relativamente calma, que é subjacente ao epilimnion.
- iii. *Metalimnion*: estrato intermédio de gradiente térmico acentuado situado entre o epilimnion e hipolimnion.

O aumento da quantidade de algas provoca a deterioração das albufeiras, pois ao acumularem-se no fundo vão sofrendo degradação. Os processos de degradação da matéria orgânica efectuados por bactérias aeróbicas, leva à redução da concentração de oxigénio dissolvido na camada mais profunda das albufeiras, que nos meses de verão sofrem a estratificação térmica anteriormente descrita, podendo levar à morte dos peixes existentes na camada inferior, desoxigenada. A desoxigenação da camada inferior pode causar a libertação do fósforo que passa a estar disponível na massa de água a partir da recirculação de outono (Environmental Protection Agency, 2004).

A acumulação de algas fitoplantónicas, durante condições atmosféricas calmas, pode causar problemas particulares em albufeiras de grandes dimensões. O impacto da eutrofização pode ser mais severo em lagos que estratificam do que naqueles que não sofrem este processo. Em lagos que não estratificam durante o verão, o fósforo pode depositar-se nos sedimentos até que se atinja o ponto de saturação, a partir do qual o fósforo é libertado para a massa de água, devido, por exemplo, à turbulência e incidência de vento na interface com os sedimentos ou através da suspensão completa na coluna de água. Da mesma forma que em muitos solos, os sedimentos da massa de água podem ter limiares críticos de concentração de fósforo, de forma que concentrações superiores a esse limiar provocam a libertação de fósforo para a massa de água. Por isso, é importante minimizar a presença da concentração de fósforo nos sedimentos das albufeiras através do controlo da entrada de nutrientes. De uma forma brusca, podem ocorrer mudanças dramáticas no estado trófico da albufeira, quando os limites ecológicos, como o limite de fósforo, é atingido (Environmental Protection Agency, 2004).

Conhecidos os valores da concentração de fósforo total, clorofila *a* e transparência é possível analisar os factores físicos e biológicos que definem o estado trófico e a qualidade de água da albufeira.

#### 1.4. CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE LAGOS E ALBUFEIRAS

##### 1.4.1. CRITÉRIO DE VOLLENWEIDER

Em 1968 Vollenweider elaborou uma aproximação à classificação quantitativa do estado trófico das albufeiras através das concentrações de fósforo e azoto presentes na massa de água. A sua classificação baseou-se num conjunto de resultados químicos da massa de água de albufeiras de várias regiões, e desta forma sugeriu uma forma de classificação com cinco classes (Quadro 2).

**Quadro 2** – *Classificação do estado trófico baseada nas concentrações de fósforo total e do azoto total (Vollenweider, 1968).*

<b>Classificação do estado trófico</b>	<b>Fósforo Total (µg/l)</b>	<b>Azoto Inorgânico (µg/l)</b>
1. Oligotrófico	<5	<200
2. Oligo-mesotrófico	5-10	200-400
3. Meso-eutrófico	10-30	300-650
4. Eu-politrófico	30-100	500-1500
5. Politrófico	>100	>1500

##### 1.4.2. CRITÉRIO DA OCDE E CRITÉRIO DO INAG

O programa internacional sobre a eutrofização realizado para a OCDE (Anon., 1982), permitiu obter uma elevada quantidade de dados, necessários à avaliação das relações entre as cargas afluentes de nutrientes e o seu impacto na produtividade de albufeiras e lagos. Os estudos efectuados neste âmbito levaram ao alargamento da classificação do estado trófico para incluir valores de clorofila e transparência. Os valores limites propostos estão apresentados no Quadro 3 (Harper, 1992).

**Quadro 3** – Valores limites de concentração (excepto Disco de Secchi) estabelecidos pela OCDE para as diversas categorias tróficas.

<b>Categoria Trófica</b>	<b>Concentração de Fósforo (<math>\mu\text{g/l}</math>)</b>	<b>Concentração de clorofila (<math>\mu\text{g/l}</math>)</b>	<b>Concentração Máxima de clorofila (<math>\mu\text{g/l}</math>)</b>	<b>Disco Secchi (m)</b>	<b>Mínimo de disco de Secchi (m)</b>
Ultra-oligotrófica	$\leq 4$	$\leq 1$	$\leq 2,5$	$\geq 12$	$\geq 6$
Oligotrófica	$\leq 10$	$\leq 2,5$	$\leq 8$	$\geq 6$	$\leq 3$
Mesotrófica	10 - 30	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 – 1,5
Eutrófica	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,5 – 0,7
Hiper-eutrófica	$\geq 100$	$\geq 25$	$\geq 75$	$\leq 1,5$	$\leq 0,7$

Em 2002 o INAG definiu um critério de avaliação do estado trófico de massas de água, baseado numa menor quantidade de parâmetros, do que o critério da OCDE, mas que se adequa às albufeiras nacionais. Este critério tem por base três parâmetros, dois de natureza estritamente química (“Fósforo total” (P) e “Percentagem de saturação em Oxigénio Dissolvido (OD)) e um indicador de natureza biológica (“clorofila a (Cla)) (Quadro 4).

**Quadro 4** - Critério de eutrofização estabelecido pelo INAG<sup>1</sup>

<b>Parâmetros</b>	<b>Oligotrófica</b>	<b>Mesotrófica</b>	<b>Eutrófica</b>
Fósforo total ( $\text{mg P/m}^3$ )	<10	10-35	>35
Clorofila a ( $\text{mg/m}^3$ )	<2,5	2,5-10	>10
Oxigénio Dissolvido (% saturação)	-	-	<40

Nota: Os valores correspondem a médias geométricas

Conformidade: A classe atribuída corresponde ao valor mais desfavorável.

#### 1.4.3. ÍNDICES DO ESTADO TRÓFICO DE CARLSON

Em 1977, Carlson propôs uma classificação alternativa para a avaliação do estado trófico das massas de água, através do cálculo de índices compreendidos numa escala de 0 a 100. Os índices baseiam-se nas mesmas relações atrás referidas, entre carga afluyente de fósforo, concentração de fósforo, clorofila e transparência, mas usam como ponto de partida o  $\log_2$  do valor da transparência (disco Secchi). Neste índice o zero situa-se aos 64 m, valor inteiro imediatamente superior ao máximo de transparência que tinha sido registado até à data do estudo (42m no Lago Masyuko no Japão

<sup>1</sup>(INAG, Avaliação do estado trófico em Albufeiras - Anuário dos Recursos Hídricos do Alentejo - Ano Hidrológico 2004/2005, 2004/2005)

(Hutchinson, 1957 citado por Harper, 1992)) e a cada redução para metade da transparência o índice aumenta em 10 valores (Harper, 1992).

Os Índices do Estado Trófico de Carlson (TSI) assentam em valores absolutos de clorofila *a*, fósforo total e transparência, e são aplicáveis a qualquer massa de água com turvação não-algal mínima (Quadro 5).

**Quadro 5 – Índice do Estado Trófico de Carlson (TSI).**

TSI	Profundidade do disco de Secchi (m)	Fósforo Total (µg/l)	Clorofila <i>a</i> (µg/l)
0	64	0,75	0,04
10	32	1,5	0,12
20	16	3	0,34
30	8	6	0,94
40	4	12	2,6
50	2	24	6,4
60	1	48	20
70	0,5	96	56
80	0,25	192	154
90	0,12	384	427
100	0,06	768	1183

A obtenção do índice do estado trófico de uma massa de água pode ser realizada através da análise independente de cada um dos três parâmetros, ou considerando apenas um ou dois parâmetros.

O índice de Carlson quando determinado apenas com base na concentração de fósforo é mais eficaz, para valores medidos no inverno e na primavera, mas caso o parâmetro utilizado seja a concentração de clorofila *a* ou a transparência, devem ser utilizados os valores das estações de crescimento (Harper, 1992).

Um índice de Carlson inferior a 20 representa uma massa de água Ultra-oligotrófica, de 30 a 40 Oligotrófica, 45 a 50 Mesotrófica, 53 a 60 Eutrófica e superior a 70 Hipertrófica (Kratzer & Brezonik, 1981 citado por Harper, 1992).

Vários investigadores desenvolveram alterações ao índice apresentado por Carlson, de acordo com as características dos lagos que estavam a estudar. Hubber (1982) realizou alterações ao índice de Carlson, utilizando a clorofila *a* em vez da transparência do Disco de Secchi, para analisar os lagos da Florida. Mais tarde, Kratzer & Brezonik (1981) incluíram o parâmetro azoto total, através da adição de uma função correlativa entre a clorofila e o azoto, e considerando 10 µg/l de clorofila *a* como a fronteira entre o estado mesotrófico e o oligotrófico (TSI=53). Para analisar os lagos de Delaware, Ritter (1985), adicionou o parâmetro azoto total e o parâmetro oxigénio dissolvido ao

TSI, verificando que a média dos cinco parâmetros permitia uma melhor classificação dos lagos, do que apenas os três parâmetros do índice de Carlson.

O TSI nem sempre se revela adequado para descrever o estado de degradação de muitas massas de água, devido à existência de excesso de macrófitas e algas filamentosas que alteram a transparência do disco de Secchi. De forma a evitar esta situação, Ritter sugeriu a inclusão de um parâmetro de biomassa total, mas não identificou nenhum em particular (Harper, 1992).

Por análise do índice de Carlson verifica-se que as maiores alterações na transparência ocorrem para valores de concentração de clorofila *a* até 30 µg/l. Para concentrações de clorofila *a* superiores 30 µg/l, a variação da transparência é pouco significativa comparativamente ao contínuo aumento da concentração da clorofila *a*. Valores de concentrações de clorofila *a* na ordem dos 30 µg/l são indicadores da presença de uma concentração muito elevada de biomassa, que a partir deste patamar tende a não variar muito, mesmo com o contínuo aumento da concentração de nutrientes. O aumento da população fitoplanctónica nas massas de água reduz progressivamente a luz disponível e consequentemente a espessura da zona trofógena, atingindo-se um ponto em que o auto-ensombramento inibe posteriores aumentos da produtividade, independentemente da limitação de nutrientes.

Assim, a quantidade de fósforo total que é necessário remover de massas de água com elevado grau de eutrofização para verificar melhorias na transparência da massa de água, é muito superior à quantidade de fósforo total a remover em massas de água eutróficas ou mesotróficas. Por exemplo, um TSI entre 40-50 diz respeito a um estado mesotrófico, e entre estes dois valores, a concentração de fósforo total duplica e a transparência passa para metade (4m para TSI=40 e 2 m para TSI=50), alteração facilmente observada pelos utilizadores das albufeiras através do aparecimento de *blooms* de algas verdes e azuis e, pela diminuição da disponibilidade de oxigénio. Por outro lado, as estratégias de controlo da qualidade das massas de águas com TSI de 70, com objectivo de reduzir para metade a concentração de fósforo, acabam por não ser perceptíveis pelos utilizadores das albufeiras, já que a redução da transparência da massa de água é de apenas 0,5 m (Harper, 1992).

Em algumas situações os índices de Carlson têm vindo a ser utilizados incorrectamente, nomeadamente em albufeiras com turvação não-algal elevada ou com extensas populações de macrófitas. Por outro lado, muitas das recolhas de amostras são efetuadas no único local da massa de água que se encontra livre de macrófitas, medindo concentrações de fósforo total, clorofila *a* e disco de Secchi que não são representativas da totalidade da massa de água, mas apenas da coluna de água de onde foi recolhida. Estas situações conduzem a erros na classificação das albufeiras, que podem ter sido classificadas como oligotrófica, a partir dessas medições, mas os utilizadores da albufeira, apenas por observação da massa de água, percebem que ela se encontra altamente eutrofizada e inutilizável devido à extensão de macrófitas que a cobre. Lind (1986) demonstrou que em algumas massas de água, a transparência é principalmente determinada pela turvação não-algal ou cor (Harper, 1992).

## **2. OBJECTIVO**

Este estudo teve como objectivo proceder à avaliação do estado trófico de duas albufeiras do Norte Alentejano, através da aplicação de métodos preconizados por diversos autores, no sentido de procurar discutir qual se adequa melhor a este tipo de região e de massas de água.

Foram seleccionadas duas albufeiras com diferentes condicionalismos nas suas bacias hidrográficas, a albufeira da Apartadura e a albufeira de Póvoa e Meadas, ambas destinadas à captação de água destinada ao consumo humano. Procedeu-se ao levantamento das fontes poluentes existentes em cada bacia hidrográfica, para obtenção de uma estimativa das cargas de azoto e fósforo afluentes a cada massa de água. Realizou-se a comparação entre as cargas afluentes estimadas e os dados de qualidade da água disponibilizados pela CCDR-A no sítio [www.ccdr-a.gov.pt](http://www.ccdr-a.gov.pt) (ano de consulta 2007).

Foram analisadas as correlações entre as concentrações de azoto e fósforo com clorofila *a*, e entre transparência e a concentração de clorofila *a*, e aplicaram-se vários métodos de previsão da clorofila *a*, com o objectivo de identificar o que melhor se adequava a cada uma das albufeiras em estudo.





### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ALBUFEIRAS

As duas bacias hidrográficas em estudo encontram-se localizadas muito próximas uma da outra, ambas no distrito de Portalegre e ambas abrangem áreas nos concelhos de Portalegre e de Marvão (a bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas engloba ainda áreas no concelho de Castelo de Vide).

A caracterização dos vários parâmetros climáticos foi baseada nos dados das normais climatológicas, publicados pelo Instituto de Meteorologia, relativos ao período 1961-1990 para a estação de Portalegre, sendo a estação que se localiza mais próximo tanto da albufeira da Apartadura como da albufeira de Póvoa e Meadas, com dados superiores a 30 anos (à excepção do vento que foi caracterizado com base na informação disponibilizada para a estação do Marvão).

Procedeu-se também à caracterização da região em estudo, relativamente à geologia e geomorfologia.

Por fim, procedeu-se à caracterização da barragem, da albufeira, da hipsometria, do relevo e declives de cada uma das duas bacias hidrográficas, com base na informação disponibilizada no site do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos ([www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)).

#### 3.2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para avaliar a qualidade da água da albufeira da Apartadura e da albufeira de Póvoa e Meadas, foram analisados os dados de qualidade de água superficial relativos à estação de amostragem da albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, disponibilizados pela CCDRA no sítio <http://snirh.inag.pt/> (consultado em Maio de 2007).

O período em análise é referente a dois anos hidrológicos consecutivos, nomeadamente, o ano hidrológico 2004/2005 e 2005/2006.

Os dados avaliados apresentam periodicidade mensal com excepção do parâmetro Azoto Kjeldhal que foi medido apenas de dois em dois meses.

#### 3.3. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL

##### 3.3.1. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL DE ORIGEM URBANA

A estimativa das cargas de fósforo e azoto provenientes de águas residuais urbanas baseou-se nos valores médios de carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>), fósforo e azoto de um efluente urbano típico Quadro 6.

**Quadro 6** – *Composição média de azoto, fósforo e carência bioquímica de oxigénio para um efluente urbano típico (Santos Oliveira, 1983).*

<b>Componente</b>	<b>Composição Média (mg/l)</b>
Azoto (N)	20
Fósforo (P)	6
CBO <sub>5</sub>	100

Considerando que a carga poluente produzida é de 60g CBO<sub>5</sub>/dia por habitante-equivalente, as quantidades de azoto e fósforo correspondentes a um habitante-equivalente são as seguintes (DRAOT, 1999):

1 habitante-equivalente de N =  $(20\text{mg N/L} * 60\text{g CBO}_5) / 100\text{mg/L CBO}_5 = \mathbf{12\text{ g de N / dia}}$  (Equação 5)

1 habitante-equivalente de P =  $(6\text{mg P/L} * 60\text{g CBO}_5) / 100\text{mg/L CBO}_5 = \mathbf{3,6\text{ g de P / dia}}$  (Equação 6)

Para determinar as cargas produzidas em habitantes-equivalente de azoto e fósforo multiplicou-se o número de habitantes, para as fontes de poluição urbana, pelas massas de azoto e fósforo produzidos por habitante e por dia.

### 3.3.2. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL PROVENIENTES DA ACTIVIDADE AGROPECUÁRIA

A determinação das cargas poluentes provenientes da actividade agropecuária foi efectuada a partir do número de efectivos animais e da quantidade média dos principais nutrientes excretados anualmente por unidade animal das principais espécies pecuárias (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

A quantidade média de nutrientes excretados anualmente por unidade animal, das principais espécies pecuárias, encontra-se no Quadro 7.

**Quadro 7** - Quantidade média de nutrientes principais excretados anualmente por unidade animal das principais espécies pecuárias (Ministério da Agricultura, 1997)

Animais unidade de cálculo	Espécie animal e tipo de produção		Nutrientes principais produzidos (em kg por unidade animal e ano)		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
BOVINOS					
1	Vaca leiteira		105	35	180
1	Vaca mãe sem vitelo		84	28	144
1	Bezerro ou vitela  para criação	1 ano	26	9	50
		2 anos	42	14	75
		3 anos	63	21	110
1	Lugar bezerro engorda		8	2,5	7
1	Lugar bovino engorda 125-500 kg		35	17	36
SUÍNOS					
1	Lugar porco de engorda 25 - 100 kg		15	7	6
1	Lugar porca reprodut., incluindo leitões até 25 kg		35	20	18
1	Lugar varrasco		17,5	10	9
AVES					
100	Lugares poedeiras		1	46	25
100	Lugares frangas		34	16	12
100	Lugares frangos engorda		40	15	13
OVINOS					
1	Lugar carneiro		16	6	29
1	Lugar ovelha leiteira		21	9	39
EQUÍDEOS					
1	Cavalo		22	12	24

## DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ANIMAIS – EQUIVALENTE

### BOVINICULTURAS

Os bovinos utilizados para produção de leite têm um peso médio superior aos bovinos utilizados na produção de carne, o que influencia o número final de animais-equivalente. Assim, para o cálculo dos animais-equivalente, no que se refere à bovinicultura, foram considerados os valores apresentados no Quadro 8.

**Quadro 8** - *Animais-equivalente para as principais actividades de bovinicultura (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).*

Actividade	Tipo	Regime	Peso médio (kg)	Animal- equivalente (kg)
Bovinicultura	Produção de carne	Intensivo	500	350
		Semi - Intensivo	500	350
Bovinicultura	Produção de leite	Intensivo	670	350
		Semi - Intensivo	670	350

O número de animais-equivalente é calculado pela seguinte fórmula (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999):

$$n^{\circ} \text{ animais-equivalente} = n^{\circ} \text{ de bovinos} \times (\text{peso médio}/350) \quad (\text{Equação 7})$$

### SUINICULTURAS

Tal como na bovinicultura, também a suinicultura apresenta diferentes tipos de produção, sendo estes: a engorda, a multiplicação e o ciclo fechado. Cada tipo de produção apresenta uma fórmula associada para a determinação do número de animais-equivalente, como é apresentado pelo Quadro 9 (DRAOT,1999).

**Quadro 9** - *Valores animais-equivalente para as principais actividades de suinicultura (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).*

Actividade	Tipo	Animais-equivalente
Suinicultura	Ciclo fechado	n.º porcas reprodutoras x 10
	Multiplicação	n.º porcas reprodutoras x 4
	Engorda	n.º porcos x 1,5

## DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE HABITANTES - EQUIVALENTE

Para a determinação do número de habitantes-equivalente, utilizaram-se os seguintes factores de conversão (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999):

$$\text{Boviniculturas: } n^{\circ} \text{ hab-equivalente} = n^{\circ} \text{ animais-equivalente} \times 7 \quad (\text{Equação 8})$$

$$\text{Suiniculturas: } n.^{\circ} \text{ hab-equivalente} = n.^{\circ} \text{ animais-equivalente} \times 2,5 \quad (\text{Equação 9})$$

### 3.3.3. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL PROVENIENTES DA ACTIVIDADE INDUSTRIAL - LAGARES

A determinação das cargas de fósforo e de azoto oriundas dos lagares teve como base as características típicas de um efluente de lagar, também designado por águas ruças.

As concentrações típicas de azoto, fósforo e  $\text{CBO}_5$  de um efluente de lagar, encontram-se no Quadro 10. As restantes características típicas deste efluente encontram-se no Anexo 1.

**Quadro 10** - Composição média de azoto, fósforo e  $\text{CBO}_5$  para um efluente de lagar, em mg/L. (M. S. Fountoulakis, 2002).

Componente	Composição Média Lagares (mg/l)
Azoto (N)	750
Fósforo (P)	293,9
$\text{CBO}_5$	47780

Para obter as quantidades de azoto e fósforo em habitante-equivalente, correspondente à carga poluente das águas ruças, foram utilizadas as seguintes expressões (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999):

$$1 \text{ habitante-equivalente de N} = (750 \text{ mg N/L} \times 60000 \text{ mg CBO}_5) / 47780 \text{ mg/L CBO}_5 = 0,941 \text{ g de N/dia}$$

$$1 \text{ habitante-equivalente de P} = (293,9 \text{ mg P/L} \times 60000 \text{ mg CBO}_5) / 47780 \text{ mg/L CBO}_5 = 0,369 \text{ g de P/dia}$$

Para determinar o número de habitantes-equivalentes ( $n.^{\circ}$  hab-equivalente) resultante das duas explorações de lagares existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, foi utilizada a seguinte expressão (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999):

$$\text{Lagares: } n.^{\circ} \text{ hab-equivalente} = [(\text{laboração média por campanha (kg)/45 dias}) \times 22]/60 \quad (\text{Equação 10})$$

Considerando:

- um período de laboração médio de 45 dias por campanha
- uma produção de 22g  $\text{CBO}_5$ /kg azeite.dia

De seguida determinou-se a carga de fósforo e azoto, com base no número de habitantes-equivalente associados a cada unidade industrial.

### 3.3.4. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE FÓSFORO TOTAL E AZOTO TOTAL PROVENIENTES DE FONTES DIFUSAS

As principais fontes de contaminação difusa estão relacionadas com uma série de actividades, fundamentalmente agropecuárias, que se desenvolvem sobre grandes extensões do território e que provocam a contaminação das águas através dos escoamentos superficiais que arrastam e dissolvem as substâncias que foram depositadas no solo. As escorrências superficiais provenientes da rede rodoviária e das zonas urbanas constituem também uma importante fonte de contaminação, em particular no que respeita a certas substâncias perigosas (Guerreiro & Pereira, 2002).

As substâncias mais comuns que se encontram nas águas sujeitas a contaminação difusa pertencem ao grupo dos fertilizantes e dos pesticidas usados na agricultura, acrescentando a matéria orgânica e as substâncias tóxicas ligadas tanto às actividades pecuárias como aos efluentes urbanos ou a determinadas actividades industriais (Guerreiro & Pereira, 2002).

A avaliação das cargas de poluentes com origem em fontes difusas foi realizada para os nutrientes azoto total e fósforo total, por se considerarem estas as substâncias que mais contribuem para este tipo de contaminação para a qualidade das águas superficiais (Guerreiro & Pereira, 2002).

Na avaliação da poluição difusa foram consideradas as actividades agrícolas, florestais, agropecuárias e ainda as cargas poluentes de natureza difusa provenientes de suiniculturas dispersas nas bacias hidrográficas em estudo (actividades em regime extensivo).

Para determinar as cargas com origem em fontes difusa foram testadas várias taxas de exportação com o objectivo de identificar as que apresentam maior adequabilidade às duas albufeiras em estudo.

As taxas de exportação, apresentadas no Quadro 11, referem-se aos poluentes azoto total e fósforo total expressos em massa de poluente exportado (hectare) por unidade de área e unidade de tempo (um ano, neste caso) referente a cada classe de uso do solo (Robalo, 2001).

**Quadro 11 - Taxas de exportação dos poluentes considerados neste estudo.**

Classes de Uso do solo	Taxas de Exportação							
	N Total (kg/ha.ano) <sup>2</sup>	P Total (kg/ha.ano) <sup>2</sup>	N total (kg/ha.ano) <sup>3</sup>		P total (kg/ha.ano) <sup>3</sup>		P total (kg/ha.ano) <sup>4</sup>	
			Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Agricultura	10,00	0,30	4,3 0	37,0	0,1	4,10	0,10	3,00
Floresta	2,00	0,05	1,00	6,30	0,01	0,86	0,02	0,45
Improdutivos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Incultos	10,00	0,30	2,50	14,00	0,10	0,66		
Social	0,70	0,20	0,70	7,30	0,10	4,10	0,05	5,00

<sup>2</sup> (Diogo *et al.*, 2003)

<sup>3</sup> (Robalo, 2001)

<sup>4</sup> (Cooke *et al.*, 1993)

Das taxas acima mencionadas, seleccionaram-se as que melhor correspondem às características da bacia hidrográfica da Apartadura e da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, ou seja, as que permitiram obter concentrações de azoto e fósforo mais próximas das concentrações destes nutrientes efectivamente medidos nas albufeiras, para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

### 3.3.5. CÁLCULO DAS CARGAS ANUAIS DE AZOTO TOTAL E FÓSFORO TOTAL POR UNIDADE DE ÁREA E ANO

De forma a avaliar os resultados obtidos nas estimativas de cargas de origem difusa e pontual, afluentes às massas de água em estudo, foi tido em consideração um modelo de mistura completa, como descrito em Metcalf & Eddy (1995) e Thomann (1987), que possibilitou o cálculo das concentrações de azoto total e fósforo total resultantes das cargas afluentes a cada albufeira.

Segundo Thomann (1987), o modelo de mistura completa pode ser utilizado, se a escala temporal da situação em estudo for suficientemente longa, uma vez que, de ano para ano ocorre mistura sazonal, o que pode resultar numa mistura completa no decorrer dos anos. Este modelo considera que ocorre uma mistura instantânea e completa de toda a água que entra com aquela que se encontra no reservatório (lago ou albufeira), permitindo uma avaliação simples da concentração média dos nutrientes, que determinam a qualidade de água da massa de água.

Para a aplicação do modelo de Metcalf & Eddy (1995), considerou-se que as duas albufeiras em estudo se encontram em mistura completa, que os caudais afluentes são iguais aos caudais efluentes, que não existe perda de nutrientes na evaporação nem ganhos na precipitação, e que não ocorre reacção química capaz de consumir os nutrientes em estudo. Assim, considerou-se que:

$$C = C_0 (1 - e^{-kt}) \quad \text{(Equação 11)}$$

$$\text{E que } C_e = \text{Carga total} / (V \times \beta) \quad \text{(Equação 12)}$$

$$\text{E } \beta = (Q + K) / V \quad \text{(Equação 13)}$$

Em que:

C = Concentração do líquido no reactor ao tempo t', ML<sup>-3</sup>

C<sub>0</sub> = Concentração inicial à entrada do reactor, ML<sup>-3</sup>

C<sub>e</sub> = Concentração à saída ou no interior do reactor, ML<sup>-3</sup>

β = Constante de tempo de residência, T<sup>-1</sup>

Q = Caudal, LT<sup>-1</sup>

V = Volume do reactor, L<sup>3</sup>

K- Tempo de Retenção normalizado, T<sup>-1</sup> = 3 x 10<sup>-8</sup> s<sup>-1</sup>

O caudal, Q, foi determinado tendo em conta a seguinte relação:

$$Q = \text{Escoamento médio anual} \times \text{Área da bacia hidrográfica} \quad (\text{Equação 14})$$

A determinação do escoamento médio anual foi realizada com base nos dados de precipitação das estações mais próximas (e com informação disponível em <http://snig.igeo.pt>) da albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, sendo respectivamente a estação do Caia e a estação de Castelo de Vide. Ambas apresentam uma série de dados de precipitação superior a 30 anos e portanto, foi possível realizar o estudo da precipitação que ocorre nas bacias hidrográficas da Apartadura e de Póvoa e Meadas, com base nas duas estações acima referidas.

Avaliados os dados de precipitação compreendidos entre os anos de 1932 e 2006, para as duas estações, e sabendo que:

$$\text{Coeficiente de escoamento} = \text{Precipitação útil} / \text{Precipitação total}$$

E que

$$\text{Precipitação útil} = 0,3 \times \text{Precipitação total} \quad (\text{Equação 15})$$

Considerou-se que o escoamento é cerca de 30% da precipitação total anual para a região Norte Alentejana onde se localizam as duas albufeiras (SNIRH s.d., 2012).

Determinou-se o escoamento médio anual para as duas albufeiras, apresentado no Quadro 12.

**Quadro 12 - Precipitação média anual e escoamento médio anual para a albufeira da Apartadura e para a albufeira de Póvoa e Meadas.**

Albufeira	Precipitação média anual (mm)	Escoamento médio anual (mm)	Escoamento médio anual (dam)
Apartadura	828	248	0,025
Póvoa e Meadas	857	257	0,026

O volume armazenado para cada uma das albufeiras foi obtido através dos dados de volume armazenado mensal (dam<sup>3</sup>) disponível em <http://snirh.inag.pt>, para a albufeira de Apartadura e para a albufeira de Póvoa e Meadas. Analisados os dados, procedeu-se ao cálculo dos volumes médios para cada uma das albufeiras.

**Quadro 13 - Área da albufeira e da bacia hidrográfica, volume médio anual armazenado e caudal médio anual na albufeira da Apartadura e na albufeira de Póvoa e Meadas**

Albufeira	Área da Albufeira (m <sup>2</sup> )	Área da bacia hidrográfica (m <sup>2</sup> )	Volume armazenado médio mensal (dam <sup>3</sup> )	Caudal médio anual (dam <sup>3</sup> /ano)
Apartadura	480 000	8 428 750	6 228	2 094
Póvoa e Meadas	2 257 712	149 917 501	7 528	38 530



Tendo sido encontradas as variáveis necessárias, procedeu-se à determinação do caudal total médio anual.

Através da utilização do *software* ArcView e da carta de usos do solo da Direcção Geral de Florestas, que apresenta seis classes de uso do solo e que se encontra disponível no sítio <http://snig.igeo.pt> (consultado em Maio de 2007), foi possível determinar a área de cada classe de uso do solo presente em cada uma das bacias hidrográficas em estudo.

Considerando que:  $Carga_{poluente} = Taxa\ de\ Exportação \times Área$  (Equação 16)

Determinou-se a carga de azoto e fósforo por tipo de uso do solo de origem difusa, para cada uma das taxas de exportação indicadas no Quadro 11.

De seguida calculou-se a carga total (tópica e difusa) de azoto e fósforo afluente a cada uma das albufeiras, e tendo em conta a Equação 11, determinou-se a concentração de nutrientes que se estimam afluir à massa de água.

### 3.4. MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DAS ALBUFEIRA

A estabilização da qualidade da água de um reservatório estende-se por vários anos, após a sua construção, sendo a sua duração dependente de factores individuais tais como, a qualidade da água afluente, o nível da água, a sua manipulação e as condições climáticas. O envelhecimento de um reservatório vai depender das cargas de azoto e fósforo que recebe, sendo tanto mais rápido quanto maiores forem essas quantidades.

O conceito de estado trófico de uma massa de água engloba não só as concentrações de nutrientes, mas também a sua produtividade, acontecendo porém que estas duas condições nem sempre estão perfeitamente correlacionadas (INAG, Critério de classificação do estado trófico das albufeiras (OCDE, 1983)).

#### CRITÉRIO DE VOLLENWEIDER

Um dos métodos utilizados para avaliar o estado trófico das duas albufeiras em estudo é o Critério de Vollenweider que relaciona a profundidade média da albufeira com a carga afluente de fósforo total e azoto total ( $g/m^2.ano$ ). Na análise efectuada para cada uma das albufeiras em estudo, foram consideradas as cargas de fósforo total e azoto total que se estimaram afluir a cada uma das albufeiras.

#### CRITÉRIO OCDE E CRITÉRIO DO INAG

O critério definido pela OCDE foi também utilizado para analisar o estado trófico da albufeira da Apartadura e da albufeira de Póvoa e Meadas. Neste caso foram considerados os dados de qualidade de água disponibilizados pela CCDRA para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

Para realizar a análise, procedeu-se ao cálculo das médias aritméticas das concentrações de fósforo e clorofila *a*, em µg/l, do valor do disco de Secchi, em metros, tendo como base os dados de qualidade da água obtidos para a albufeira da Apartadura e para a albufeira de Póvoa e Meadas.

O critério definido pelo INAG foi também aplicado às duas albufeiras em estudo, tendo como base os dados de qualidade da água indicados no Quadro 18 e Quadro 21, e realizando as médias geométricas para os parâmetros considerados neste critério.

#### CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (TSI) NAS ALBUFEIRAS

A determinação do TSI, para a albufeira da Apartadura e para a albufeira de Póvoa e Meadas para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, foi determinada através dos valores médios de concentração registados em cada um dos anos, para os parâmetros Disco de Secchi (m), fósforo total (µg/l) e clorofila *a* (µg/l).

#### 3.5. ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA *A* ATRAVÉS DE EQUAÇÕES

As equações que permitem estimar as concentrações de clorofila *a*, com base nas concentrações de fósforo total ou de azoto total foram aplicadas à albufeira da Apartadura e à albufeira de Póvoa e Meadas, considerando os valores de concentração de nutrientes registados nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, em cada uma das massas de água.

A primeira equação a ser testada foi a de Dillon & Rigler (1974) que estima a concentração média de clorofila *a* [clorofila *a*] de verão, a partir da concentração média de fósforo total [PT] de primavera (Equação 2).

$$\text{Log [clorofila } a] = 1.449 \log [\text{PT}] - 1.136 \quad (\text{Equação 2})$$

A equação proposta por Jones & Bachmann (1976), que considera concentrações de fósforo total e clorofila *a* médias de verão, foi também aplicada às albufeiras em estudo (Equação 3).

$$\text{Log [clorofila } a] = 1.46 \log [\text{PT}] - 1.09 \quad (\text{Equação 3})$$

Foi ainda analisada a adequabilidade da equação determinada por Smith (1982) que considera concentrações médias de fósforo total [PT] e de azoto total [AT], como forma de prever a concentração de clorofila *a* (Equação 4).

$$\text{Log [clorofila } a] = 0.6531 \log [\text{PT}] + 0.548 \log [\text{AT}] - 1.517 \quad (\text{Equação 4})$$

Pretendeu-se assim verificar, quais das equações definidas por estes autores permitem obter concentrações de clorofila *a* mais próximas da concentração de clorofila *a* efectivamente medida nas duas albufeiras em estudo. Os valores de concentração de azoto total e fósforo total utilizados nas previsões correspondem aos valores médios de concentração efectivamente medidos na albufeira.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DAS ALBUFEIRAS E ZONAS ENVOLVENTES

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO

O conhecimento do clima de uma região é fundamental para o planeamento e gestão das actividades sócio-económicas, e também essencial para mitigar as consequências dos riscos climáticos. Torna-se assim importante conhecer as características climáticas presentes numa determinada região, neste caso, na região da albufeira da Apartadura e da albufeira de Póvoa e Meadas. Para tal, foi elaborada uma breve caracterização dos principais indicadores climáticos.

#### 4.1.1. PRECIPITAÇÃO

A distribuição anual da precipitação é tipicamente mediterrânea: 83% do total anual está concentrado entre Outubro e Abril. Os valores mensais mais elevados, superiores a 96 mm, dizem respeito a Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Os meses mais secos são os de Julho e Agosto, apresentando valores médios que resultam de chuvadas esporádicas que apenas ocorrem em alguns anos.

A precipitação média mensal máxima é de 125 mm em Janeiro, enquanto a mínima é de 7 mm em Julho. A precipitação média anual é de 889 mm (Metereologia s.d., 2007).

#### 4.1.2. TEMPERATURA

A temperatura média anual em Portalegre é 15,5 °C, sendo a média máxima de 19,5 °C e a mínima de 10,8 °C. A máxima absoluta atingida foi de 29,9 °C em Agosto e a mínima absoluta de 5,7 °C em Janeiro. Em média, o número de dias por ano com temperaturas mínimas inferiores a 0 °C, foi inferior a dois. O número de dias por ano com temperaturas mínimas inferiores a 20 °C foi, em média, entre 30 e 40 e o número de dias com temperaturas máximas superiores a 30 °C foi entre 50 e 70 (Metereologia s.d., 2007).

#### 4.1.3. INSOLAÇÃO

O número máximo de horas de sol varia entre um mínimo de 145,8 em Janeiro e um máximo de 367,9 em Julho, atingindo em média no ano, 2795,5 horas. Em termos de percentagem estes valores representam respectivamente 49%, 83% e 62% do total possível. Como seria de prever, num clima de influência mediterrânea, os valores da insolação são relativamente elevados.

Contudo os valores da insolação na zona da albufeira devem ser menores do que os referidos devido à ocorrência de maior nebulosidade (CCDRA s.d., 2007).

O número de horas de insolação durante um ano na região de Portalegre varia entre 2801 horas e 2900 horas (Metereologia s.d., 2007).

#### 4.1.4. NEBULOSIDADE

Os dias encobertos ( $N \geq 8/10$ ) predominam de Novembro a Março e os dias descobertos ( $N \leq 2/10$ ) predominam nos meses de Junho a Setembro (CCDRA s.d., 2007).

#### 4.1.5. HUMIDADE RELATIVA DO AR

Os valores médios anuais são às 9:00 horas de 78% e às 18:00 horas de 65 %. Em Dezembro e Janeiro observam-se os valores mais elevados e em Julho e Agosto os valores mais baixos (CCDRA s.d., 2007).

#### 4.1.6. VENTO

O vento é um elemento climático importante, potenciando diversas actividades recreativas nas albufeiras, como as actividades náuticas, vela e windsurf.

Os dados relativos à estação de Marvão revelam que os rumos oeste e noroeste, dominam ao longo de todo o ano, ocorrendo em mais de 40% das observações. Além destes dois rumos apenas o norte têm algum significado, com frequências entre 10% e 12% no verão e de 13% a 17% no resto do ano.

As velocidades médias nos rumos dominantes variam entre 10 a 12 Km/hora no verão e 20 a 25 Km/hora no inverno. Este comportamento verifica-se em todos os rumos: velocidades médias de 10 Km/hora no verão (Maio a Setembro) e de 20 km/hora no inverno (Novembro a Fevereiro). Apenas no rumo oeste se verificam velocidades um pouco mais baixas: cerca de 7/8 Km/hora no verão e 15 Km/hora no inverno.

Os períodos sem vento são pouco significantes: 9,45 das observações anuais. São um pouco mais frequentes nos meses de Fevereiro e de Junho a Setembro (10% a 13% das observações) que no resto do ano (6% a 9% das observações) (Vide, 1995).

#### 4.1.7. EVAPORAÇÃO

Os valores médios de evaporação são máximos em Agosto, com 261,8 mm, e mínimos em Janeiro, com 69,5 mm.

A média de evaporação anual foi de 1778,3 mm (CCDRA s.d., 2007).

Depois de analisados os elementos climáticos que caracterizam o clima desta região, conclui-se que estamos na presença de um clima mediterrânico.

#### 4.1.8. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA REGIÃO

Na sub-região onde se localizam as duas albufeiras em estudo é possível identificar três grandes unidades ambientais, diferenciadas pelas características geomorfológicas: a área de peneplanície, a plataforma de Portalegre e a serra de São Mamede.

A peneplanície, que envolve toda a serra constitui a “base” acima da qual esta se eleva. É a forma de relevo dominante do Alentejo e da Estremadura Espanhola. Para poente estende-se até à bacia terciária do Tejo. Para nascente da serra, penetra profundamente em Espanha, ocupando enorme extensão, em especial nas províncias de Badajoz, Cáceres, Toledo e Ciudad Real.

A peneplanície apresenta de um modo geral um relevo suave a ondulado, com grandes extensões onde a superfície de aplanção se encontra bem conservada e outras zonas onde a erosão hídrica a entalhou de forma mais ou menos acentuada.

A sua altitude cresce suavemente de oeste para leste, sendo pouco mais de 300 metros a poente da serra e de 350 a 400 metros na zona envolvente a este da mesma.

No que se refere à geologia, a norte da serra e até uma latitude que coincide, grosso modo, com o limite norte do concelho de Marvão, predominam as formações de granitos. A norte daquela linha e imediatamente a sul da serra dominam as formações xistentas e xisto-grauváquicas, embora um pouco mais a sul se voltem a encontrar granitos.

Nas formações xistentas e xisto-grauváquicas os solos apresentam, de um modo geral, fortes limitações ao uso agrícola. Às formações graníticas correspondem, normalmente, solos com menores limitações ao uso agrícola.

Verifica-se uma grande diversidade no que diz respeito à utilização do solo. Na peneplanície a norte surgem com maior significado os sistemas arvenses de sequeiro, sistemas florestais (pinhal bravo e eucaliptal), sistemas silvopastoris (montados de azinho e sobro) e carvalhais. A sul os sistemas silvopastoris alternam com os sistemas arvenses de sequeiro.

A plataforma de Portalegre constitui uma zona de transição entre a peneplanície e a serra, correspondendo do ponto de vista geomorfológico, a um patamar, a cerca de 400/500 metros de altitude, separado da peneplanície por um degrau, de altura variável, em média de cerca de uma centena de metros. Este patamar apresenta maior desenvolvimento a norte da serra e a poente, entre Portalegre, Fortios e Castelo de Vide. A sul a sua extensão é reduzida. São muito abundantes os afloramentos rochosos e os solos com fortes limitações ao uso agrícola, apresenta relevo mais suave do que a serra e, no que se refere ao uso do solo, predominam os sistemas agrícolas extensivos. Os declives dominantes são de 15 a 25%, surgindo contudo zonas relativamente planas.

Na plataforma a norte da serra predominam formações de granito, enquanto a sul dominam as formações xistentas e xisto-grauváquicas, com quartzitos, calcários e calcários dolomíticos.

Do ponto de vista climático apresenta características semelhantes à peneplanície envolvente, embora denotando alguma influência da serra.

A serra de São Mamede constitui um relevo com cerca de 40 km na sua maior extensão, na direcção aproximada noroeste-sudoeste e cerca de 10 km na direcção perpendicular (Feio & Almeida citado em Vide, 1995).

A zona de serra individualiza-se da peneplanície e da plataforma envolvente, pelo seu relevo acidentado, com declives frequentemente superiores a 25%, cotas superiores aos 600 m, a presença marcante dos relevos dominados pelas cristas quartzíticas, predominância do substrato de xistos, solos com fortes limitações ao uso agrícola e condições climáticas particulares – temperaturas mais baixas e precipitações mais elevadas, além de variações microclimáticas acentuadas.

A linha de separação das bacias do Tejo e do Guadiana passa pela serra. Daqui divergem as linhas de cumeada que definem as bacias hidrográficas da ribeira de Nisa, do rio Sabor, do Caia e do Xévorá.

A rede hidrográfica revela um forte condicionamento estrutural organizando-se, de modo quase geral, paralelamente aos alinhamentos das cristas quartzíticas.

Quanto à utilização do solo na zona da serra, são frequentes os olivais, pequenas manchas de soutos e castiçais, alguns povoamentos de carvalho negral (actualmente limitados a áreas muito restritas) e de pinhal bravo (povoamentos estremos); são muito significativas as áreas incultas com matos mais ou menos bem desenvolvidos.

Esta área do Norte do Alentejo onde se situa a albufeira de Póvoa e Meadas e da Apartadura apresenta, no quadro da região, características únicas, de que resultam potencialidades turísticas muito relevantes. A serra, nomeadamente, apresenta características particulares no que se refere ao clima, à vegetação, à ocupação e actividades humanas, sendo de salientar ainda a elevada concentração de valores patrimoniais, que na zona da serra quer na plataforma envolvente.

Esta riqueza patrimonial, natural e humanizada, motivou a criação do Parque Natural da Serra de São Mamede.

Além do Parque Natural da Serra de São Mamede foram ainda identificadas nesta sub-região, mais duas áreas de interesse para a conservação da natureza, no âmbito do Projecto “Biótopos”, designadas respectivamente por “Póvoa e Meadas” e “Ribeira de Nisa” (Vide, 1995).

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ALBUFEIRAS E ÁREAS ENVOLVENTES

### 4.2.1. ALBUFEIRA DA APARTADURA

#### BARRAGEM

A barragem da Apartadura foi projectada em 1983, tendo sido finalizada 10 anos depois. A obra foi promovida pelo Instituto da Água (INAG), que em conjunto com o Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica (IDRHa), ex-IHERA, é o dono desta obra.

A barragem da Apartadura foi construída com o objectivo de ser utilizada essencialmente para a rega e abastecimento público dos concelhos de Marvão e Castelo de Vide.

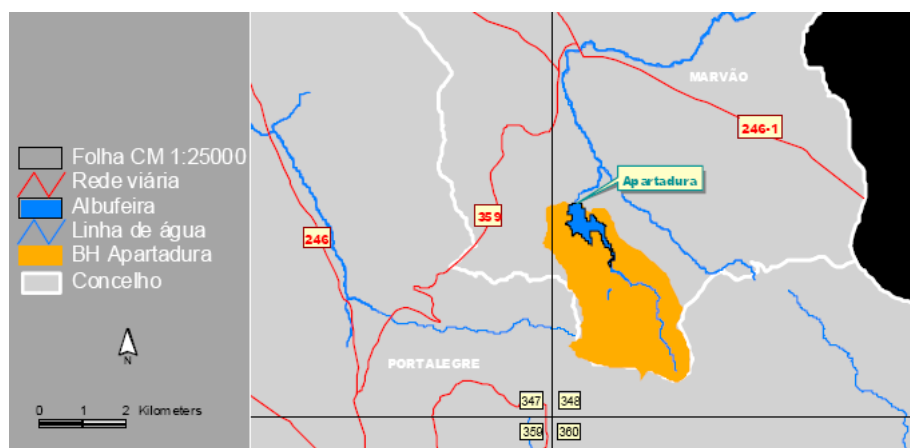
A barragem da Apartadura apresenta as características indicadas pelo Quadro 14.

**Quadro 14 - Características da Barragem da Apartadura (SNIHR, 2007).**

<b>Altura acima do terreno natural</b>	44,5 m
<b>Comprimento do coroamento</b>	284 m
<b>Cota do coroamento</b>	598 m
<b>Tipo do descarregador</b>	Canal de encosta
<b>Capacidade do descarregador de superfície</b>	45 m <sup>3</sup> /s
<b>Capacidade da descarga fundo</b>	14,5 m <sup>3</sup> /s

#### ALBUFEIRA

A albufeira da Apartadura é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Tejo, localiza-se no distrito de Portalegre, concelho de Marvão. Encontra-se no Norte Alentejano, e a sua bacia hidrográfica abrange os concelhos de Portalegre e Marvão (Figura 1).



**Figura 1 - Localização da albufeira da Apartadura (CCDRA s.d., 2007).**

As características morfométricas da albufeira são apresentas no Quadro 15.

**Quadro 15 - Caracterização da Albufeira da Apartadura (SNIHR, 2007).**

Nome		Apartadura
<b>Linha de Água</b>		Ribeira de Reveladas
<b>Bacia Hidrográfica Principal</b>		Tejo
<b>Coordenadas</b>	<b>Latitude</b>	39° 20' 48" (N)
	<b>Longitude</b>	7° 22' 4" (W)
<b>Área da bacia hidrográfica</b>		8,4 Km <sup>2</sup>
<b>Área da albufeira</b>		48 ha
<b>Altitude média da bacia hidrográfica</b>		717,22 m
<b>Declive médio da bacia hidrográfica</b>		17,4 %
<b>Profundidade Média*</b>		14,7 m
<b>Capacidade Total</b>		7 465 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Capacidade Útil</b>		6 980 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Volume Morto</b>		485 (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Cota do Nível de Pleno Armazenamento (NPA)</b>		595 m
<b>Cota do Nível Máximo de Cheia (NMC)</b>		595,9 m
<b>Cota do Nível Mínimo de Exploração (NME)</b>		568 m
<b>Superfície inundável do NPA</b>		48 ha
<b>Tipo de Aproveitamento</b>		Abastecimento + Rega

\*Valor calculado

#### BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica estende-se por uma área de 8,4 km<sup>2</sup>, apresentando uma forma aproximadamente oval, com maior desenvolvimento na direcção Su-sudoeste - Nor-nordeste (SSE-NNE). A bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura insere-se no Parque Natural da Serra de São Mamede.

O sistema de abastecimento de água da Albufeira da Apartadura integra o Sistema Multimunicipal de Abastecimento e Saneamento do Norte Alentejano, e foi concebido para abastecer os Municípios de Castelo de Vide, Marvão, Nisa (Montalvão) e Portalegre (34 263 habitantes) (Portugal s.d., 2007)

#### LINHAS DE ÁGUA

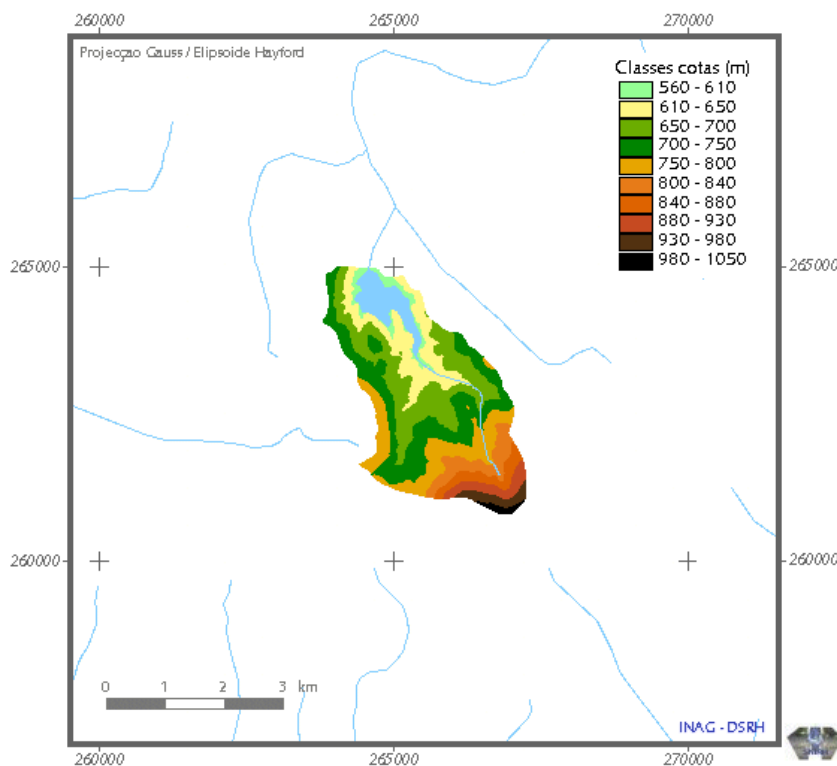
A albufeira da Apartadura é alimentada pela linha de água principal Ribeira de Reveladas (SNIRH, 2007).



## HIPSOMETRIA, RELEVO E DECLIVES

A altitude da bacia hidrográfica varia entre cerca de 560 metros, (no leito da albufeira, junto à barragem) e 980 metros (no limite sul da bacia) (Figura 2).

O relevo da bacia hidrográfica apresenta declives médios de 17,4%.



**Figura 2 - Carta hipsométrica da bacia hidrográfica da Apartadura (SNIRH, 2007).**

## 4.2.2. ALBUFEIRA DE PÓVOA E MEADAS

## BARRAGEM

A barragem de Póvoa e Meadas integra-se no aproveitamento hidroelétrico da ribeira de Nisa. Além do escalão de Póvoa e Meadas, integram este aproveitamento as centrais de Bruceira e Velada. A sua construção decorreu entre 1924 e 1935, tendo a Póvoa sido concluída em 1928.

Trata-se de um aproveitamento com reduzido interesse económico já que a produção anual média (do conjunto das centrais) é de 15,7 GWh. Apesar disso existe a intenção de o manter activo tendo as três centrais sido remodeladas entre 1987 e 1993, com instalação de novos grupos de geradores e renovação do equipamento de protecção e comando.

Em Póvoa e Meadas a central está situada a jusante da barragem, aproveitando uma queda nominal de 28,01 metros. A ligação entre a barragem e a central é feita por uma conduta forçada com cerca de 150 metros de comprimento e 0,80 metros de diâmetro.

Todo o aproveitamento está automatizado e telecomandado a partir da Sala de Comando da Central de Belver (Vide, 1995).

A barragem de Póvoa e Meadas foi inicialmente construída com o objectivo de edificar uma reserva de água para a produção de energia, contudo actualmente, com a construção da ETA de Póvoa e Meadas, está a ser utilizada para a rega e abastecimento público.

A barragem de Póvoa e Meadas apresenta as características indicadas no Quadro 16.

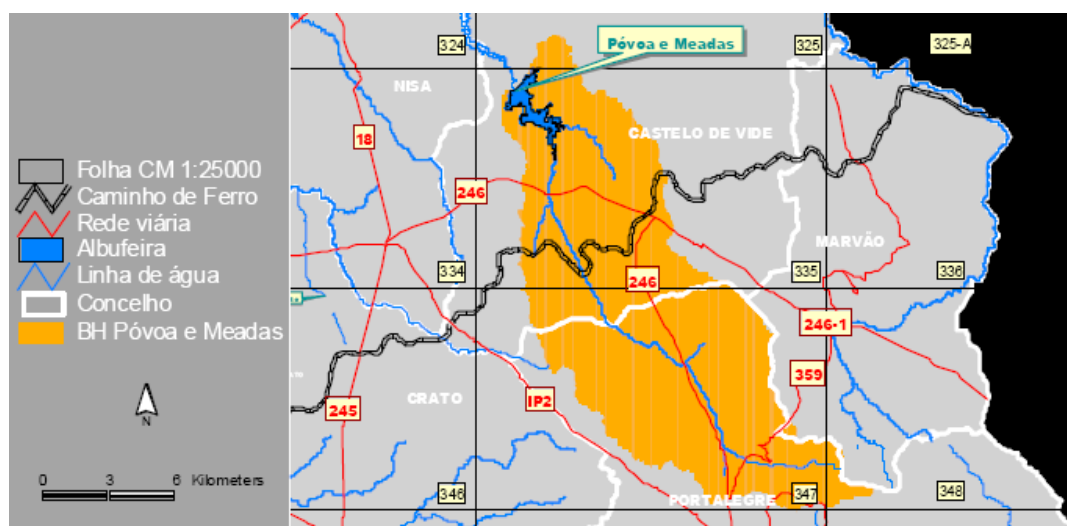
**Quadro 16 - Características da Barragem de Póvoa e Meadas (INAG, 2007).**

<b>Altura acima do terreno natural</b>	28,5m
<b>Comprimento do coroamento</b>	400 m
<b>Cota do coroamento</b>	313,5 m
<b>Tipo do descarregador</b>	Canal de encosta
<b>Capacidade do descarregador</b>	110 m <sup>3</sup> /s

#### ALBUFEIRA

A albufeira de Póvoa e Meadas é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Tejo, localiza-se no Norte Alentejano, distrito de Portalegre, concelho de Castelo de Vide. A sua bacia hidrográfica engloba os concelhos de Castelo de Vide, Portalegre e Marvão.

A albufeira desenvolve-se segundo um eixo Sudeste-Noreste, com um comprimento da ordem dos 3 km, uma largura média de 350 m e máxima de, aproximadamente, 2500 metros. A largura máxima é atingida junto à própria barragem devido ao alinhamento Nordeste-Sudoeste, neste local, de dois braços na albufeira (Vide, 1995) (Figura 3).



**Figura 3 - Localização da albufeira de Póvoa e Meadas (CCDR-A,2007).**

As características morfométricas da albufeira apresentam-se no Quadro 17.

**Quadro 17- Caracterização da albufeira de Póvoa e Meadas.**

<b>Nome</b>		<b>Póvoa e Meadas</b>
<b>Linha de Água</b>		Ribeira de Nisa
<b>Bacia Hidrográfica Principal</b>		Tejo
<b>Coordenadas</b>	<b>Latitude</b>	39° 29' 10" (N)
	<b>Longitude</b>	7° 33'25" (W)
<b>Área da albufeira</b>		225 ha
<b>Área da bacia hidrográfica</b>		150 Km <sup>2</sup>
<b>Altitude média</b>		442,22 m
<b>Profundidade Média*</b>		18,5 m
<b>Declive médio da albufeira</b>		9%
<b>Capacidade Total</b>		22 000 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Capacidade Útil</b>		18 800 x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
<b>Volume Morto</b>		500 (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Cota do Nível de Pleno Armazenamento (NPA)</b>		311,45 m
<b>Cota do Nível Máximo de Cheia (NMC)</b>		313m
<b>Superfície inundável do NPA</b>		236 ha
<b>Tipo de Aproveitamento</b>		Hidroeléctrico + Abastecimento + Rega

\*Valor determinado.

#### BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia da albufeira de Póvoa e Meadas localiza-se entre a serra de S. Mamede e o rio Tejo, abrange uma área cerca de 150 km<sup>2</sup> e apresenta uma configuração alongada, com o maior desenvolvimento na direcção Nor-noroeste-Su-sudeste.

Devido à forma da bacia e ao tipo de orografia presente, são muitas e de reduzidas dimensões as sub-bacias e correspondentes linhas de água tributárias da ribeira de Nisa que afluem à albufeira, sendo três as de maior expressão: ribeira de Vale Serrão, ribeira de Cogulo e a ribeira do Carvalho (ou Salgueiral) (Vide, 1995).

#### LINHAS DE ÁGUA

A albufeira de Póvoa e Meadas é alimentada pela linha de água principal Ribeira de Nisa e por várias linhas de água secundárias (SNIRH, 2007).

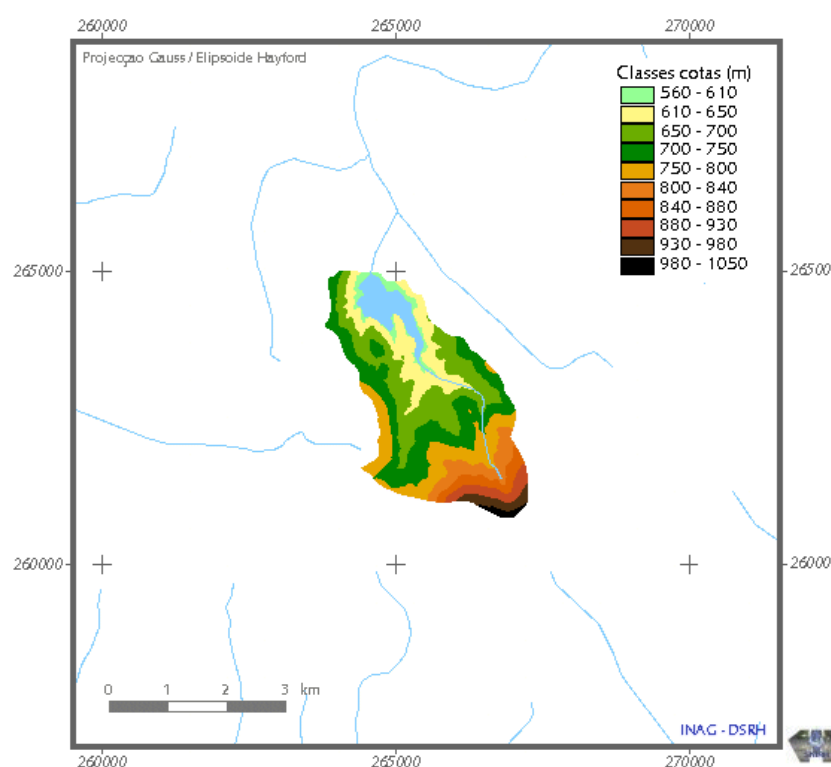
#### HIPSOMETRIA, RELEVO E DECLIVES

A altitude da bacia hidrográfica da albufeira de Póvoa e Meadas varia entre cerca de 280 m no leito da albufeira, junto à barragem e 1027 m na serra de S. Mamede no limite sudeste da

bacia, perto da nascente da ribeira de Nisa. A maior parte da sua área situa-se, contudo, entre os 313 e os 400 metros de altitude (Figura 4).

O relevo apresenta declives dominantes inferiores a 15%, excepto ao longo da ribeira de Nisa e da ribeira de Vale Serrão onde os valores se situam entre os 15% e os 25%. No limite sudeste da bacia, serras de S. Mamede e Castelo de Vide, as encostas apresentam declives dominantes superiores a 25%.

A barragem situa-se a cerca de 320 m de altitude (Nível Pleno de Armazenamento da albufeira a 311,45 m), na zona de transição da plataforma para a peneplanície. A bacia da albufeira corresponde a cerca de metade da área da bacia da ribeira de Nisa antes da sua confluência com o Tejo (Vide, 1995).

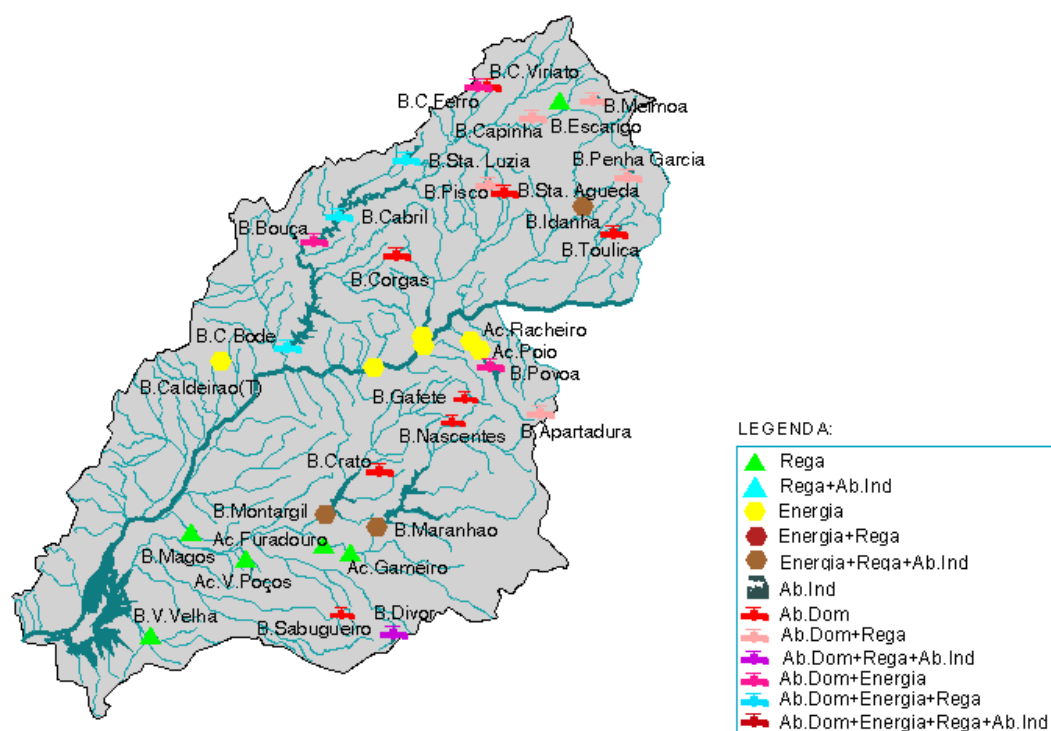


**Figura 4 - Carta hipsométrica da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas (SNIRH, 2007)**

#### 4.3. USOS DA ÁGUA (ACTUAIS E POTENCIAIS)

##### 4.3.1. ALBUFEIRA DA APARTADURA

Conforme estabelece o Decreto Regulamentar 2/88, a albufeira da Apartadura esta classificada como “protegida”, categoria que corresponde a albufeiras “cuja água é ou se prevê que venha a ser utilizada para abastecimento de populações e aquelas cuja protecção é ditada por defesa ecológica” (Água, 2000). Actualmente o uso principal da albufeira da Apartadura é a produção de água para consumo humano e para rega, como se pode verificar pela Figura 5.



**Figura 5 - Usos principais das albufeiras da bacia hidrográfica do Tejo (SNIRH, 2007)**

Em relação aos usos secundários, as albufeiras de águas públicas são classificadas, pelo Decreto-Regulamentar N°2/88 de acordo com as características do local em que se inserem e dos usos primários já existentes, em quatro classes (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos):

- Protegidas
- Utilização Limitada
- Utilização Livre
- Condicionada

Deste modo e segundo o DL N°2/88, a albufeira da Apartadura é classificada, como foi anteriormente referido, como protegida.

O citado Decreto Regulamentar permite a utilização, com restrições, da albufeira nas actividades de pesca, banhos e natação e navegação recreativa a remo e à vela.

#### 4.3.2. ALBUFEIRA DE PÓVOA E MEADAS

A albufeira de Póvoa e Meadas está classificada pelo Decreto Regulamentar 2/88, como “utilização” limitada. O seu uso principal era a produção de energia eléctrica, como se pode verificar pela Figura 5 (Vide, 1995), mas actualmente é utilizada também para abastecimento público.

A albufeira de Póvoa e Meadas tem como utilizações secundárias o recreio e o turismo (Vide 1995).

Segundo o DL N°2/88, a albufeira de Póvoa e Meadas é classificada, como de utilização limitada. Este Decreto permite a utilização, com restrições, da albufeira nas actividades de pesca, navegação recreativa a motor e à vela. As actividades de banhos e natação e de navegação a remo são permitidas sem restrições, no entanto não é permitida a utilização de motos de água (CCDRA, 2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE QUALIDADE DA ÁGUA

#### 5.1.1. ALBUFEIRA DA APARTADURA

A avaliação da qualidade da massa de água da albufeira da Apartadura, para ano hidrológico 2004/2005 baseou-se nos dados recolhidos entre 12/10/2004 e 13/09/2005, e para o ano hidrológico 2005/2006 nos dados entre 08/11/2005 e 12/09/2006.

Os dados de qualidade da água registados na Albufeira da Apartadura, e analisados neste estudo encontram-se no quadro Quadro 18.

**Quadro 18** - *Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira da Apartadura para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.*

Data de colheita	Fósforo Total (mg/m <sup>3</sup> )	Fosfatos (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> )	Clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	Transparência (m)	Oxigénio dissolvido (% Sat)	Azoto Kjeldahl (mg N/m <sup>3</sup> )	Azoto amoniacal (mg NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> )	Nitritos (mg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> )
12/10/2004	13	23	1,39	2,8	52	-	40	1	440
09/11/2004	43	42	2,95	3,1	74	620	70	4	970
06/12/2004	25	23	1,39	3,2	89	-	60	8	1550
18/01/2005	16	28	2,12	2,5	97	370	60	4	970
15/02/2005	29	46	2,12	2,5	77	-	80	4	1860
15/03/2005	65	94	1,11	2,5	97	350	40	5	1150
12/04/2005	91	24	0,97	2,8	101	-	70	3	930
10/05/2005	84	91	1,25	-	109	30	60	3	800
07/06/2005	14	19	0,83	2,8	86	-	60	5	430
05/07/2005	46	23	1,89	-	81	1360	180	5	360
02/08/2005	16	23	1,57	2,2	95	-	100	5	290
13/09/2005	37	58	18,05	2,8	68	1000	100	7	240
08/11/2005	31	15		2,2	78,5	430	40	5	840
06/12/2005	47	55	4,29	2,0	80	-	40	10	1150
17/01/2006	13	23	6,56	1,8	71	510	290	9	970
14/02/2006	31	44	0,69	2,0	84	-	50	6	1110
14/03/2006	36	35	4,57	2,0	89	440	40	8	1820
10/04/2006	30	23	4,16	1,8	76,7	-	40	8	1680
09/05/2006	20	30	2,63	-		210	40	10	1510
06/06/2006	24	23	3,46	1,8	94	-	50	18	1240
04/07/2006	64	101	3,32	1,8	81,2	550	40	6	800
01/08/2006	245*	102	3,05	1,8	94,8	-	40	7	580
12/09/2006	105	27	3,74	11,6	85,5	450	50	5	90

\*Valor desconsiderado para o cálculo da concentração média de fósforo por ano e por ano hidrológico, por se considerar um valor muito afastado dos registado nas restantes amostras.

Os valores dos parâmetros azoto kjedahl, azoto amoniacal, nitritos e nitratos foram utilizados para calcular o valor de azoto total. Para tal teve-se se em consideração a seguinte relação:

$$[\text{Azoto Total}] = [\text{Azoto Kjeldahl (Azoto Orgânico + Azoto Amoniacal)}] + [\text{Nitritos}] + [\text{Nitratos}]$$

Antes de se proceder ao somatório acima indicado foi necessário converter as concentrações de azoto amoniacal, nitritos e nitratos em  $\text{mg N/m}^3$ . Para tal, determinou-se a massa molar (M) do azoto amoniacal ( $\text{NH}_4$ ), Nitritos ( $\text{NO}_2$ ) e Nitratos ( $\text{NO}_3$ ):

$$M(\text{NH}_4) = 14 + (4 \cdot 1) = 18 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NO}_2) = 14 + (2 \cdot 16) = 46 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{NO}_3) = 14 + (3 \cdot 16) = 62 \text{ g/mol}$$

Através da relação entre o número de moles (n) e a massa molar (M), ( $n=m/M$ ), determinou-se a massa (m) de azoto presente nas concentrações de azoto amoniacal, nitritos e nos nitratos.

Correlacionando a massa de azoto com a massa molar do azoto amoniacal, nitritos e dos nitratos, obtém-se um índice que multiplicado pelas respectivas concentrações indicadas no Quadro 18, converte as concentrações destes parâmetros em  $\text{mg N/m}^3$  (Quadro 19).

Neste quadro apresentam-se ainda os valores de azoto inorgânico calculados tendo em conta a relação abaixo indicada:

$$[\text{Azoto Inorgânico}] = [\text{Azoto Amoniacal}] + [\text{Nitritos}] + [\text{Nitratos}]$$



**Quadro 19** - *Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira da Apartadura para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 e determinação das concentrações de azoto total e azoto inorgânico.*

Data de colheita	Azoto Kjeldahl (mg N/m <sup>3</sup> )	Azoto amoniacal (mg N/m <sup>3</sup> )	Nitritos (mg N/m <sup>3</sup> )	Nitratos (mg N/m <sup>3</sup> )	Azoto Total (mg N/m <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>	Azoto Inorgânico (mg N/m <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>
12/10/2004	-	31	<1	99	-	131
09/11/2004	620	55	1	219	840	275
06/12/2004	-	47	2	350	-	399
18/01/2005	370	47	1	219	590	267
15/02/2005	-	62	1	420	-	483
15/03/2005	350	31	2	260	611	292
12/04/2005	-	55	1	210	-	265
10/05/2005	30	47	1	181	212	228
07/06/2005	-	47	2	97	-	145
05/07/2005	1360	140	2	81	1443	223
02/08/2005	-	78	2	65	-	145
13/09/2005	1000	78	2	54	1056	134
08/11/2005	430	31	2	190	621	222
06/12/2005	-	31	3	260	-	294
17/01/2006	510	226	3	219	732	447
14/02/2006	-	39	2	251	-	291
14/03/2006	440	31	2	411	853	445
10/04/2006	-	31	2	379	-	413
09/05/2006	210	31	3	341	554	375
06/06/2006	-	39	5	280	-	324
04/07/2006	550	31	2	181	732	214
01/08/2006	-	31	2	131	164	164
12/09/2006	450	39	2	20	472	61

Nos meses onde não se realizaram medições de azoto kjedhal não foi possível determinar o valor de azoto total, mas existindo pelo menos uma medição deste parâmetro em cada estação do ano, foi possível caracterizar os anos hidrológicos em estudo quanto à concentração de azoto total.

Para a albufeira da Apartadura não há registo de dados para o mês de Outubro de 2005, e a transparência não foi medida para os meses de Maio e Julho de 2005 e Maio de 2006. No entanto, foi possível utilizar os dados de qualidade de água disponibilizados pela CCDRA, para a caracterização da qualidade da massa de água da albufeira da Apartadura, uma vez que foi cumprido o número mínimo de dados para cada estação do ano (um dado para cada estação do ano), tal como definido pelo INAG (INAG, 2004/2005).

O Quadro 20 indica as concentrações de azoto, fósforo e clorofila *a* médias anuais para a albufeira da Apartadura, para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

<sup>5</sup> Concentração de Azoto total determinada neste estudo.

<sup>6</sup> Concentração de Azoto Inorgânico determinada neste estudo.

**Quadro 20** - Concentrações médias anuais de azoto total, fósforo total e clorofila a para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, para a albufeira da Apartadura.

Ano Hidrológico	Concentração méd azoto total (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração méd fósforo total (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração méd clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )
2004/2005	792	40	3,0
2005/2006	661	40	3,7
<b>Média</b>	<b>727</b>	<b>40</b>	<b>3,4</b>

## 5.1.2. ALBUFEIRA DE PÓVOA E MEADAS

A avaliação da qualidade da massa de água da albufeira de Póvoa e Meadas, para ano hidrológico 2004/2005 baseou-se nos dados recolhidos entre 12/10/2004 e 13/09/2005, e para o ano hidrológico 2005/2006 nos dados entre 11/10/2005 e 12/09/2006.

Os dados de qualidade da água registados na Albufeira de Póvoa e Meadas e analisados neste estudo encontram-se no quadro Quadro 21.

**Quadro 21** - Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira de Póvoa e Meadas para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

Data de colheita	Fósforo Total (mg/m <sup>3</sup> )	Fosfatos (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> )	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Transparência (m)	Oxigénio dissolvido (% Sat)	Azoto Kjeldahl (mg N/m <sup>3</sup> )	Azoto amoniacal (mg NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> )	Nitritos (mg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> )
12/10/2004	253	323	14,36	0,9	65	-	570	25	530
09/11/2004	484	590	18,61	0,7	68	1970	890	94	2080
06/12/2004	332	454	6	0,7	61	-	970	84	2920
18/01/2005	190	240	41	0,7	33	1240	260	37	2890
12/02/2005	217	156	44,51	0,6	93	-	100	24	2660
15/03/2005	299	162	44,37	0,6	150	3780	440	21	400
12/04/2005	273	150	21,98	0,8	100	-	50	8	90
10/05/2005	178	209	10,43	0,8	105	1470	80	7	440
07/06/2005	250	320	14,77	0,6	59	-	40	4	90
05/07/2005	220	121	48,8	0,7	68	2520	750	6	120
02/08/2005	333	224	42,34	0,6	110	-	250	2	130
13/09/2005	336	456	58,77	0,7	82	1710	50	12	230
11/10/2005	370	504	-	0,6	68	-	430	9	530
08/11/2005	822	1221	-	0,6	46,8	2500	80	124	2080
06/12/2005	765	1440	7,71	0,7	58	-	1000	157	2920
17/01/2006	570	1025	6,74	-	67	1550	790	156	2890
14/02/2006	427	900	6,37	0,7	115	-	390	98	2660
14/03/2006	472	598	110,74	0,7	125	1660	80	102	400
10/04/2006	351	626	36,1	0,7	95,8	-	140	103	90
09/05/2006	306	385	65,93	-	79,3	1250	70	12	440
06/06/2006	270	324	16,94	0,7	95	-	50	9	90
04/07/2006	264	236	10,3	0,7	94,5	1060	40	18	120
01/08/2006	498	105	81,91	0,7	111,9	-	110	7	130
12/09/2006	121	44	42,34	0,6	59,7	1440	80	3	230

Procedeu-se ao cálculo das concentrações de azoto amoniacal, nitritos e dos nitratos em  $\text{mg N/m}^3$  e ainda do azoto inorgânico, tal como explicado anteriormente, e apresentam-se os resultados no Quadro 22.

**Quadro 22-** *Dados de qualidade de água medidos na estação da albufeira de Póvoa e Meadas para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 e determinação das concentrações de azoto total e azoto inorgânico.*

Data de colheita	Azoto Kjeldahl ( $\text{mg N/m}^3$ )	Azoto amoniacal ( $\text{mg N/m}^3$ )	Nitritos ( $\text{mg N/m}^3$ )	Nitratos ( $\text{mg N/m}^3$ )	Azoto Total ( $\text{mg N/m}^3$ ) <sup>7</sup>	Azoto Total ( $\text{mg N/m}^3$ ) <sup>8</sup>
12-10-2004	-	443	8	120	-	571
09-11-2004	1970	692	29	470	2468	1 191
06-12-2004	-	754	26	659	-	1 439
18-01-2005	1240	202	11	653	1904	866
12-02-2005	-	78	7	601	-	686
15-03-2005	3780	342	6	90	3877	439
12-04-2005	-	39	2	20	-	62
10-05-2005	1470	62	2	99	1571	164
07-06-2005	-	31	1	20	-	53
05-07-2005	2520	583	2	27	2549	612
02-08-2005	-	194	1	29	-	224
13-09-2005	1710	39	4	52	1766	94
11-10-2005	-	334	3	120	-	457
08-11-2005	2500	62	38	470	3007	570
06-12-2005	-	778	48	659	-	1 485
17-01-2006	1550	614	47	653	2250	1 315
14-02-2006	-	303	30	601	-	934
14-03-2006	1660	62	31	90	1781	184
10-04-2006	-	109	31	20	-	161
09-05-2006	1250	54	4	99	1353	157
06-06-2006	-	39	3	20	-	62
04-07-2006	1060	31	5	27	1093	64
01-08-2006	-	86	2	29	-	117
12-09-2006	1440	62	1	52	1493	115

Para a albufeira de Póvoa e Meadas não existem dados para o parâmetro clorofila *a* nos meses de Outubro e Novembro de 2005, e de transparência nos meses de Janeiro e Maio de 2006. No entanto, foi possível utilizar os dados de qualidade de água disponibilizados pela CCDRA, para a caracterização da qualidade da massa de água das da albufeira da Apartadura, uma vez que existe pelo menos um dado para cada estação do ano.

No Quadro 23 apresentam-se as concentrações de clorofila *a*, azoto e fósforo médias anuais para a albufeira de Póvoa e Meadas, para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

<sup>7</sup> Concentração de Azoto total determinada neste estudo.

<sup>8</sup> Concentração de Azoto Inorgânico determinada neste estudo.

**Quadro 23** – Concentrações médias anuais azoto total, fósforo total e clorofila a para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, para a albufeira de Póvoa e Meadas.

Ano Hidrológico	Concentração méd azoto total (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração méd fósforo total (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração méd clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )
2004/2005	2 356	280	30,5
2005/2006	1 830	436	38,5
<b>Média</b>	<b>2 093</b>	<b>358</b>	<b>34,5</b>

## 5.2. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE NUTRIENTES AFLUENTES

### 5.2.1. ALBUFEIRA DA APARTADURA

#### 5.2.1.1. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES TÓPICAS DE POLUIÇÃO

O facto da Albufeira da Apartadura se enquadrar no Parque Natural de Serra de São Mamede, a reduzida dimensão do seu plano de água, a reduzida dimensão da sua bacia hidrográfica e o elevado declive médio das suas encostas, constituem um sistema natural de frágil equilíbrio ecológico.

#### FONTES DE POLUIÇÃO URBANAS

Segundo o Plano de Ordenamento da Albufeira da Apartadura a única população que se encontra na área abrangida por este plano, é a população de Reveladas com cerca de 40 habitantes (Água, 2000).

Esta população produz um caudal de águas residuais de, aproximadamente, 200l/h. Actualmente esta pequena população não possui rede de drenagem de esgotos, mas com a prevista construção de um estabelecimento hoteleiro, prevê-se também o tratamento em conjunto dos efluentes residuais da população da povoação de Reveladas com os efluentes produzidos por esta futura estalagem. No total, o caudal de águas residuais domésticas produzidas será de 500l/h, com uma carga poluente de 450 mg CBO<sub>5</sub>/l (Água, 2000).

#### FONTES DE POLUIÇÃO INDUSTRIAIS

Em relação à poluição industrial não existem na área actividades industriais relevantes, não sendo portanto de esperar graves problemas de poluição decorrentes deste sector, para a bacia como um todo (Água, 2000).

#### FONTES DE POLUIÇÃO AGROPECUÁRIAS

Para determinar as cargas afluentes à albufeira da Apartadura provenientes da fraca agropecuária existente na bacia hidrográfica, e sabendo que esta se pratica em regime não intensivo,

procedeu-se à extrapolação do número de efectivos animais presentes na bacia hidrográfica da Apartadura a partir da informação disponível no Recenseamento Geral Agrícola de 1999.

A área da Bacia Hidrográfica da Apartadura abrange dois concelhos, Marvão e Portalegre. Conhecendo os efectivos animais presentes nestes dois concelhos, extrapolou-se o número de efectivos animais (bovinos e suínos) existentes na bacia hidrográfica.

O número de efectivos animais extrapolados para a bacia hidrográfica da Apartadura, encontra-se no Quadro 24.

**Quadro 24 – Número de efectivos animais extrapolado para a bacia hidrográfica da Apartadura.**

<b>Efectivo animal</b>	<b>Efectivo animal Extrapolado</b>
Bovinos	511
Bovinos - Vacas leiteiras	13
Bovinos - Outras vacas	287
Suínos	118
Suínos - Fêmeas reprodutoras	35

Note-se que todas as extrapolações possuem erro associado, podendo como tal, esta extrapolação introduzir alguns erros na determinação das cargas afluentes à albufeira. No entanto, utilizou-se este método, uma vez que esta foi a única forma possível de estimar as cargas provenientes da agropecuária existente na bacia hidrográfica da Apartadura.

#### 5.2.1.2. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE ÁZOTO E FÓSFORO DE ORIGEM TÓPICA

##### 5.2.1.2.1. ORIGEM URBANA

Os resultados das cargas urbanas estimadas, afluentes à albufeira da Apartadura, encontram-se no Quadro 25.

**Quadro 25 - Carga de azoto e fósforo, em kg/dia e ton/ano, de origem urbana afluente à albufeira da Apartadura.**

<b>Habitantes</b>	<b>Carga Urbana</b>		<b>Carga Urbana</b>	
	<b>Produzida/Rejeitada (kg/dia)</b>		<b>Produzida/Rejeitada (ton/ano)</b>	
40	Azoto total	Fósforo total	Azoto total	Fósforo total
	0,48	0,14	0,175	0,05

Note-se que a carga poluente é diferenciada em carga produzida e rejeitada, isto é, a carga gerada que é rejeitada para o meio hídrico por inexistência ou ineficácia dos meios de tratamento (DRAOT, 1999). No que diz respeito ao cálculo das cargas rejeitadas, e como não existe sistema de tratamento de efluentes domésticos nesta população, considerou-se uma taxa de remoção de 0%.

#### 5.2.1.2.2. ACTIVIDADE AGROPECUÁRIA

No Quadro 26, apresenta-se o número de efectivos animais estimados para a bacia hidrográfica da Apartadura, o número de animais-equivalente e de habitante-equivalente associados, bem como as respectivas cargas de CBO<sub>5</sub>.

**Quadro 26** - *Estimativa de efectivos animais e de carga de azoto e fósforo produzida na albufeira da Apartadura.*

Efectivo animal	Nº de animais (Extrapolado)	Nº animais- equivalente	Nº habitantes -equivalente	Carga de Azoto (kg N/ano)	Carga de Fósforo (kg P/ano)
Bovinos	511	731	5115	22 404	6 721
Bovinos -vacas leiteiras	13	25	176	770	231
Bovinos - outras vacas	287	411	2 875	12 591	3 777
Suíños	118	177	443	1 942	583
Suíños – fêmeas reprodutoras	35	350	874	3 828	1 149
<b>Total</b>				41 535	12 460

Após a extrapolação do nº de animais existentes na bacia hidrográfica, converteu-se esse valor em animais-equivalentes tendo em consideração o Quadro 8, o Quadro 9 e a Equação 7. Posteriormente converteu-se o número de animais-equivalente em habitantes-equivalente através das Equações 8 e 9, e por fim converteram-se os habitantes-equivalentes determinados, em carga anual de azoto e fósforo com base na Equação 5 e 6.

Na bacia hidrográfica da Apartadura não existe nenhum tratamento dos efluentes domésticos nem dos efluentes provenientes da pecuária, uma vez que esta se realiza em regime extensivo. Desta forma, a taxa de remoção de azoto e fósforo é nula e, portanto, a carga produzida é igual à carga rejeitada na bacia hidrográfica.

#### 5.2.1.3. ESTIMATIVA DE CARGAS DE AZOTO E FÓSFORO PROVENIENTES DA ACTIVIDADE AGROPECUÁRIA

A determinação da carga de azoto e fósforo proveniente da actividade agropecuária baseou-se na quantidade média de nutrientes principais excretados anualmente por unidade animal das principais espécies pecuárias (Quadro 7).

Tendo em conta o número de efectivos animais extrapolados para a bacia hidrográfica da Apartadura e a quantidade de azoto e fósforo produzida por animal por ano, obtiveram-se as cargas indicadas no Quadro 27.

**Quadro 27** – *Estimativa da carga de fósforo e azoto, em ton/ano, proveniente da actividade agropecuária, afluente à albufeira da Apartadura.*

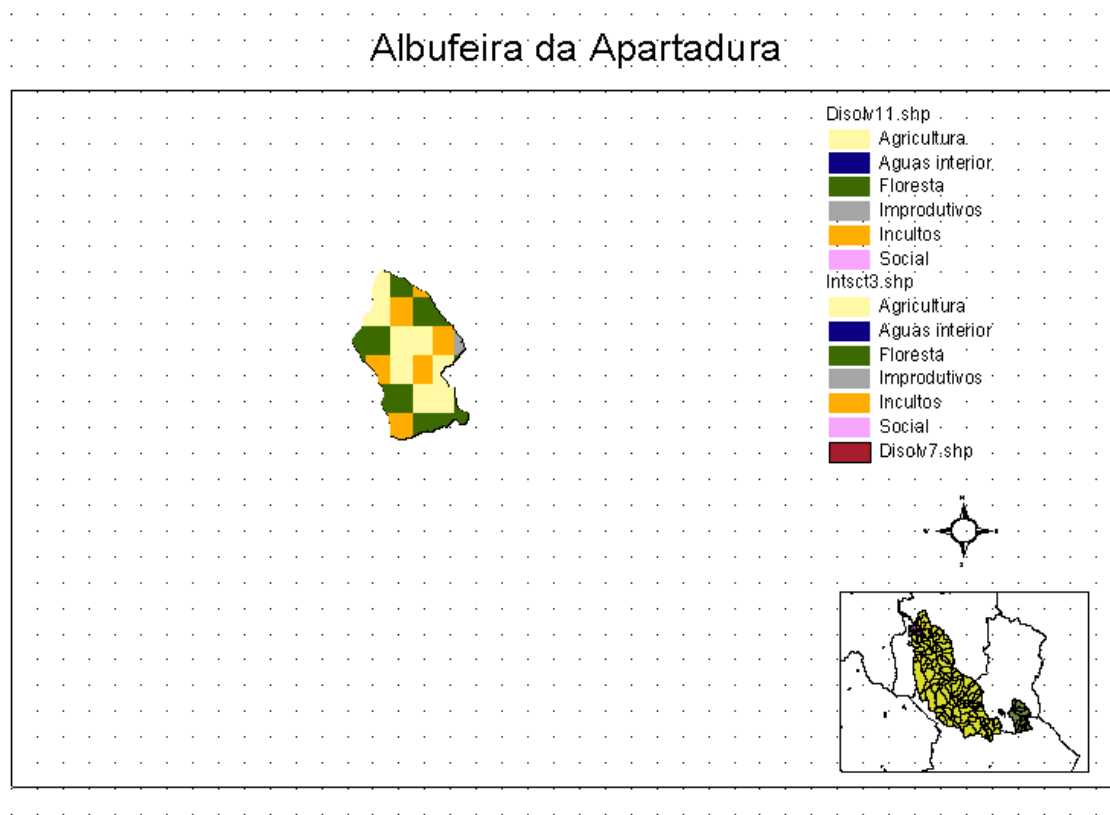
<b>Carga Produzida/Rejeitada proveniente da Agropecuária (ton/ano)</b>	
<b>Azoto total</b>	<b>Fósforo total</b>
41,5	12,6

Como não existe qualquer tipo de sistemas de retenção, as taxas de remoção para o azoto e fósforo são nulas e, portanto a carga produzida é igual à carga rejeitada.

#### 5.2.1.4. ESTIMATIVAS DAS CARGAS POLUENTES DE ORIGEM DIFUSA

##### A. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO

A carta de uso do solo correspondente à bacia hidrográfica da Apartadura encontra-se indicada na Figura 6.



**Figura 6** - Usos de solo na bacia hidrográfica da Apartadura.

No Quadro 28 encontram-se as áreas de cada classe de uso do solo para a albufeira da Apartadura.

**Quadro 28 - Áreas das classes de uso do solo da Bacia Hidrográfica da Apartadura**

<b>Classes de Uso do solo</b>	<b>Área (ha)</b>
Agricultura	507,8
Floresta	452,7
Improdutivos	20,5
Incultos	342,9
Águas interiores	48
Social	0

#### B. DETERMINAÇÃO DAS CARGAS TOTAIS POLUENTES DE ORIGEM DIFUSA

O método das taxas de exportação de poluentes permitiu estimar a concentração de fósforo e de azoto produzida na bacia hidrográfica, e verificar se esta estimativa se encontra coerente com a concentração de nutrientes medidas na massa de água da albufeira.

No Quadro 29 estão indicadas as taxas de exportação que se verificaram ser as mais aproximadas das cargas medidas na albufeira. Neste quadro encontra-se também o total da carga de azoto total e fósforo total estimado por tipo de uso do solo, existente na bacia hidrográfica de Apartadura.

**Quadro 29 - Estimativa da carga de azoto e fósforo de origem difusa afluente à albufeira da Apartadura.**

<b>Classes do uso do solo</b>	<b>Coeficientes de Exportação</b>		<b>Carga Poluente de Origem Difusa</b>	
	<b>Azoto total (kg/ha.ano)<sup>9</sup></b>	<b>Fósforo total (kg/ha.ano)<sup>10</sup></b>	<b>Azoto total (kg/ano)</b>	<b>Fósforo total (kg/ano)</b>
Agricultura	4,3	0,30	2 184	152
Floresta	1,0	0,05	453	23
Improdutivos	0,0	0,00	0,00	0,00
Incultos	2,5	0,30	857	103
<b>Total</b>			<b>3 494</b>	<b>278</b>

Os coeficientes de exportação apresentados no Quadro 11 foram testados de forma a identificar os que permitiram obter concentrações de azoto e fósforo mais próximas das concentrações médias medidas nas albufeiras.

<sup>9</sup> (Robalo, 2001)

<sup>10</sup> (Diogo *et al.*, 2003)



Os coeficientes de exportação que permitiram estimar concentrações de nutrientes mais próximas das efectivamente medidas na albufeira, foram utilizadas neste estudo e encontram-se apresentadas no Quadro 29.

As cargas poluentes de azoto total e fósforo total obtiveram-se através da multiplicação da área correspondente a cada uso do solo (Quadro 28) pelo coeficiente de exportação indicado no Quadro 29. Para cada tipo de uso do solo foi associada uma taxa de exportação de fósforo, originando uma carga poluente diferente para cada uso do solo.

O Quadro 30 apresenta as cargas totais de poluição de origem tónica e de origem difusa, em kg/ano, para a albufeira da Apartadura.

**Quadro 30** – *Estimativa da carga de azoto total e fósforo total afluente à bacia hidrográfica da Apartadura.*

Tipo de Poluição	Carga poluente total na B.H. da Apartadura	
	Azoto Total (kg/ano)	Fósforo Total (kg/ano)
Urbana	175	53
Difusa	3 494	278
<b>Total</b>	<b>3 669</b>	<b>331</b>

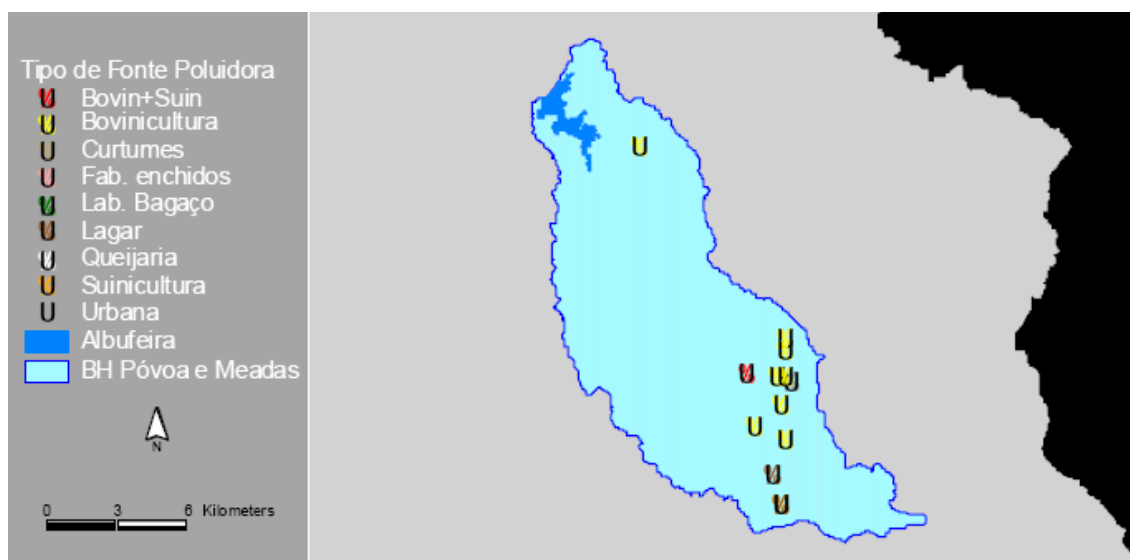
Na estimativa das cargas totais afluentes considerou-se apenas a carga de azoto e fósforo de origem urbana e difusa, uma vez que a carga proveniente da actividade Agropecuária foi determinada por extrapolação do número de efectivos animais, podendo conduzir a uma sobrestimação da carga afluente a esta albufeira, como o POA da Apartadura refere que a única fonte de poluição é de origem urbana, estes animais existiriam em regime extensivo e portanto, as suas cargas de nutrientes iriam contribuir para a poluição de origem difusa.

Para utilizar a carga de azoto e fósforo proveniente da Agropecuária no cálculo da carga total de origem difusa, seria necessário ter coeficientes de escoamento para tipos de solo ocupados com pastagens permanentes e saber a área alocada a esta actividade, informação que não foi possível obter neste estudo.

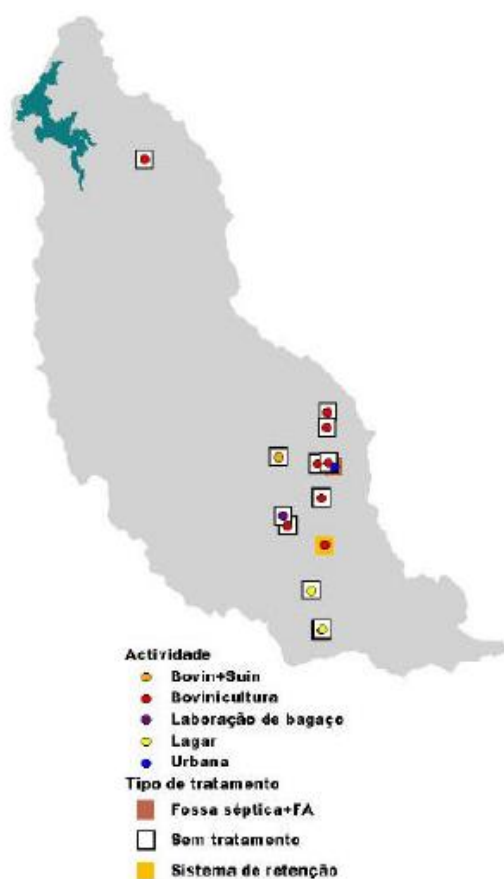
## 5.2.2. ALBUFEIRA DE PÓVOA E MEADAS

### 5.2.2.1. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES TÓPICAS DE POLUIÇÃO

As fontes de poluição pontual existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, bem como o tipo de tratamento e disposição geográfica associada, estão indicados na Figura 7 e Figura 8, respectivamente.



**Figura 7 - Fontes de poluição pontual da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas (CCDRA, 2007).**



**Figura 8 - Fontes de poluição pontual e tipo de tratamento (CCDRA, 2007).**

A distribuição das fontes de poluição, o respectivo tipo de tratamento existente e as cargas afluentes podem ser visualizados em maior detalhe no Anexo 2.

#### FONTES DE POLUIÇÃO URBANAS

As fontes de poluição das águas de origem doméstica na área da bacia são devidas ao esgoto produzido pelas populações dos aglomerados aí existentes.

A bacia hidrográfica da albufeira de Póvoa e Meadas abrange áreas dos concelhos de Portalegre, Castelo de Vide e Marvão.

Estes concelhos situam-se no Alto Alentejo, sub-região onde predomina um povoamento do tipo concentrado sobre um fundo de disseminação mais rara, constituída pelos “Montes” e com densidades populacionais muito baixas ( $\approx 22$  hab/km<sup>2</sup>) quando comparadas com a média do Continente ( $\approx 106$  hab/km<sup>2</sup>) (Vide, 1995).

Na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas foi identificada apenas uma fonte de poluição urbana, de acordo com a informação disponibilizada pela CCDRA e pelo Anexo 2.

A população é constituída por 502 habitantes, e os seus efluentes domésticos sofrem um tratamento deficiente que é constituído por uma fossa séptica e por um filtro de areia.

#### FONTES DE POLUIÇÃO INDUSTRIAIS

As fontes de poluição industrial existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas dizem respeito aos dois lagares presentes na mesma.

Estas duas explorações apresentam um tipo de extracção tradicional, produzindo uma 400 ton/ano e a outra 500 ton/ano de azeite (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

De acordo com os dados da DRAOT, nenhuma das duas explorações de lagares possuía tratamento dos seus efluentes. É portanto, uma fonte de poluição industrial importante e que não pode deixar de ser considerada, aquando da determinação das cargas afluentes à albufeira de Póvoa e Meadas.

#### FONTES DE POLUIÇÃO AGROPECUÁRIAS

A identificação das fontes de poluição provenientes da actividade agropecuária, fez-se através da informação disponível no documento de Identificação e Caracterização das Fontes Poluidoras de Carácter Pontual localizadas em Bacias Hidrográficas das Albufeiras Destinadas à Produção de Água para Consumo Humano e em Bacias Drenantes para Zonas Balneares, elaborado pela DRAOT em 1999.

No Anexo 2 estão discriminadas as fontes de poluição tóxicas existentes na albufeira de Póvoa e Meadas.

As actividades agropecuárias localizadas na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas são maioritariamente boviniculturas, existindo apenas uma exploração que pratica simultaneamente a actividade de bovinicultura e suinicultura.

#### 5.2.2.2. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE AZOTO E FÓSFORO DE ORIGEM TÓPICA

##### 5.2.2.2.1. ORIGEM URBANA

Previamente à determinação das cargas poluentes de origem urbana foi necessário converter o número de habitantes em carga de  $\text{CBO}_5$  produzida (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

Este cálculo foi efectuado da mesma forma que para as cargas poluentes de origem urbana na albufeira da Apartadura. Assim, tendo em conta o número de habitantes da fonte urbana, o Quadro 6, a Equação 5 e 6, determinou-se a carga produzida pela população, em termos de fósforo e azoto.

Dependendo do tipo de tratamento aplicado aos efluentes provenientes das várias actividades, foram consideradas as percentagens de remoção de  $\text{CBO}_5$  apresentadas pelo Quadro 31, que permitiram estimar a carga poluente rejeitada a partir da produzida. Note-se que estes valores são teóricos, à excepção das percentagens utilizadas para algumas ETAR, as quais foram obtidas pela DRAOT - Alentejo através do “Programa de Controlo das ETAR Municipais”, correspondendo a uma média dos valores de colheitas realizadas entre 1998 e 1999 (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

As percentagens de remoção de  $\text{CBO}_5$  correspondente a cada tipo de tratamento existente na bacia são apresentadas no Quadro 31.

**Quadro 31** - *Tipo de tratamento e respectiva percentagem de remoção de  $\text{CBO}_5$  (DRAOT, 1999)*

<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Percentagem de remoção (%)</b>
Sistema de retenção	0
Fossa séptica + Filtro de areia (FA)	50

As fontes de poluição com sistema de tratamento existentes na bacia hidrográfica em estudo são o efluente urbano e uma das boviniculturas de produção de leite. O tratamento do efluente urbano é considerado deficiente, sendo realizado através de fossa séptica e filtro de areia (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

Para os sistemas de retenção, as percentagens de remoção para o azoto e fósforo são nulas. As taxas de remoção referentes ao azoto e fósforo, para um sistema de Fossa séptica + Filtro de areia (FA) e de retenção encontram-se presentes no Quadro 32.

**Quadro 32** - Tipo de tratamento e percentagem de remoção de azoto e fósforo associadas (DRAOT, 1999)

Tipo de Tratamento	Elemento	Percentagem de Remoção (%)
Fossa séptica + Filtro de areia (FA)	Azoto	75
	Fósforo	80
Sistemas de Retenção	Azoto-Fósforo	0

As cargas de azoto e fósforo produzidas e rejeitadas encontram-se no Quadro 33.

**Quadro 33** - Carga de azoto e fósforo, em ton/ano, produzida e rejeitada de origem urbana afluente à albufeira de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Carga Produzida de Origem Urbana (ton/ano)		Carga Rejeitada de Origem Urbana (ton/ano)	
	Azoto	Fósforo	Azoto	Fósforo
Póvoa e Meadas	0,13	0,04	0,07	0,02

#### 5.2.2.2.2. ORIGEM INDUSTRIAL

Como foi referido anteriormente, as duas explorações de lagar existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, constituem as únicas fontes de poluição industrial.

Como as indústrias de produção de azeite não possuem sistema de tratamento de efluentes, considerou-se então que a carga produzida é igual à carga rejeitada. As cargas de fósforo e de azoto provenientes das duas explorações de lagares existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, calculadas conforme referido em 3.3.3, apresentam-se no Quadro 34.

**Quadro 34** - Carga de azoto e fósforo, ton/ano, de origem industrial afluente à albufeira de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Nº Hab-equivalentes	Carga produzida-rejeitada (ton/ano)	
		Azoto	Fósforo
Póvoa e Meadas	7334	2,52	0,99

#### 5.2.2.2.3. ORIGEM AGROPECUÁRIA

##### A) DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ANIMAIS – EQUIVALENTE

##### BOVINICULTURAS

Na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas existem nove boviniculturas, cinco de produção de leite e as restantes de produção de leite e produção de carne.

Para o cálculo dos animais-equivalente, no que se refere à bovinicultura, foram considerados os valores apresentados pelo Quadro 8, e a Equação 7.

#### SUINICULTURAS

Na bacia em estudo existe uma exploração que exerce a actividade de bovinicultura e de suinicultura, simultaneamente. As cargas provenientes desta fonte de poluição pontual foram determinadas conforme explicitado no capítulo 3.3.2.

#### B) DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE HABITANTES - EQUIVALENTE

Para a determinação do número de habitantes-equivalente, utilizaram-se os factores de conversão indicados pela Equação 8 e Equação 9, bem como as disposições descritas no 3.3.2.

O número de habitante-equivalentes para a actividade agropecuária apresenta-se na Figura 9.

Fontes de poluição da Albufeira de Póvoa e Meadas

ID	ACTIVIDADE	TIPO	DIMENSÃO	Nº HAB. EQUIVALENTE	TIPO DE TRATAMENTO	SITUAÇÃO TRATAMENTO	CARGA PRODUZIDA kg CBO <sub>5</sub> /dia	CARGA REJEITADA kg CBO <sub>5</sub> /dia
13001	Bovinicultura	P. leite+P. carne	73+34	326	Sem tratamento		19,6	19,6
13002	Lagar	Tradicional	400 ton/ano	3260	Sem tratamento		195,6	195,6
13003	Lagar	Tradicional	500 ton/ano	4074	Sem tratamento		244,4	244,4
13004	Bovinicultura	Prod. leite	22	101	Sem tratamento		6,0	6,0
13006	Bovin+Suin	P.leite+engorda	22+15	154	Sem tratamento		9,3	9,3
13007	Bovinicultura	P. leite+P. carne	20+16	90	Sem tratamento		5,4	5,4
13008	Urbana	Efluente final	502	502	Fossa séptica+FA	Deficiente	30,1	15,1
13009	Bovinicultura	Prod. leite	19	255	Sistema de retenção		15,3	0
13010	Bovinicultura	Prod. leite	16	71	Sem tratamento		4,3	4,3
13011	Bovinicultura	P. leite+P. carne	52+27	322	Sem tratamento		19,3	19,3
13012	Bovinicultura	P. leite+P. carne	33+20	148	Sem tratamento		8,9	8,9
13013	Bovinicultura	Prod. leite	15	67	Sem tratamento		4,0	4,0
13014	Bovinicultura	Prod. leite	140	625	Sem tratamento		37,5	37,5

**Figura 9 - Quantificação das cargas poluentes afluentes à bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas por tipo de actividade, medidas em kg CBO<sub>5</sub>/dia.**

A determinação da carga de azoto e fósforo proveniente da actividade agropecuária baseou-se na quantidade média de nutrientes principais, excretados anualmente por unidade animal das principais espécies pecuárias (Quadro 7).

Uma das actividades (bovinicultura) existentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas possui tratamento de efluentes, por sistema de retenção. Considerou-se para este caso uma carga rejeitada de 0 (zero) e, portanto a percentagem de remoção para o azoto e fósforo são nulas (Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território, 1999).

Tendo em conta o número de efectivos animais e a respectiva carga rejeitada de CBO<sub>5</sub>/dia indicados na Figura 9, e as considerações apresentadas na Equação 5 e 6, multiplicou-se o valor de carga rejeitada de CBO<sub>5</sub> de cada uma das actividades existentes, por 12 para obter a carga diária de

azoto (N) e por 3,6 para a carga diária de fósforo (P). Depois converteram-se as cargas diárias de azoto e fósforo obtidas (g/dia) em cargas anuais (kg/ano).

**Quadro 35** – *Estimativa da carga de fósforo e azoto, em ton/ano, provenientes da actividade agropecuária, afluenta à albufeira de Póvoa e Meadas.*

<b>Carga Rejeitada proveniente da Agropecuária (ton/ano)</b>	
<b>Azoto</b>	<b>Fósforo</b>
44,9	6,8

#### 5.2.2.2.4. CARGAS TOTAIS DE ORIGEM TÓPICA

No Quadro 36 encontram-se os valores das cargas totais de fósforo e de azoto, resultantes do somatório das cargas de origem urbana, industrial e das cargas provenientes da agropecuária, afluentes à albufeira de Póvoa e Meadas.

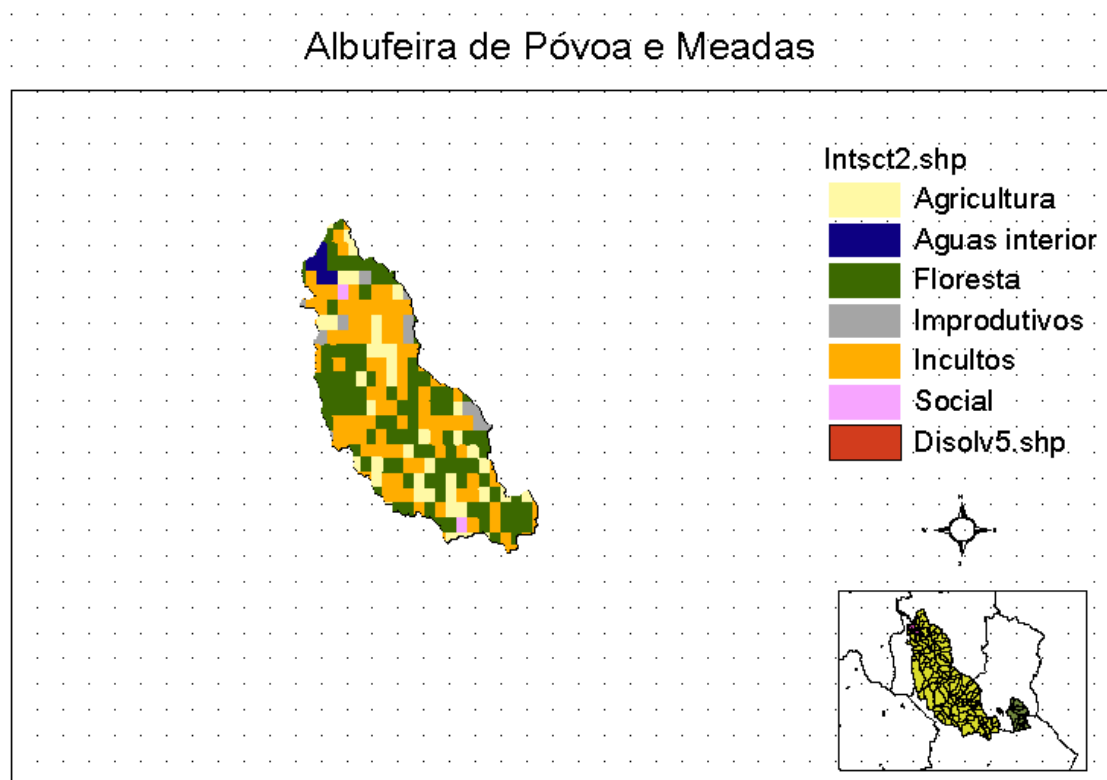
**Quadro 36** - *Estimativa da carga total de fósforo e azoto, de origem tópica produzida na albufeira de Póvoa e Meadas.*

<b>Carga Total Produzida-Rejeitada (ton/ano)</b>	
<b>Azoto</b>	<b>Fósforo</b>
47,5	7,8

#### 5.2.2.3. ESTIMATIVA DAS CARGAS DE AZOTO E FÓSFORO DE ORIGEM DIFUSA

##### 5.2.2.3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE OCUPAÇÃO DE SOLO

As cartas de uso do solo correspondente à bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas estão indicadas Figura 10.



**Figura 10 - Usos de solo na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas**

No Quadro 37 encontram-se as áreas de cada classe de uso do solo da bacia hidrográfica da albufeira de Póvoa e Meadas.

**Quadro 37 - Áreas das classes de uso do solo da bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas**

Classes de Uso do solo	Área (ha)
	B.H. Póvoa e Meadas
Agricultura	2 382,7
Floresta	5 919,5
Improdutivos	551,7
Incultos	5 681,4
Águas interiores	319,3
Social	137,1

#### 5.2.2.3.2. DETERMINAÇÃO DAS CARGAS TOTAIS DE POLUENTES DE ORIGEM DIFUSA

Através do método das taxas de exportação procedeu-se à determinação das cargas tóxicas e difusas de azoto e fósforo. Procedeu-se à comparação das concentrações de fósforo e de azoto medidas na massa de água da albufeira de Póvoa e Meadas, com as cargas tóxicas e difusas estimadas para esta albufeira.



A estimativa das concentrações de nutrientes na albufeira de Póvoa e Meadas foi efectuada da forma anteriormente descritas para a albufeira da Apartadura.

As taxas de exportação utilizadas para a determinação da carga difusa de azoto e fósforo afluente à albufeira de Póvoa e Meadas, encontram-se apresentadas no Quadro 38.

**Quadro 38** - *Estimativa da carga de azoto e fósforo de origem difusa afluente à albufeira de Póvoa e Meadas.*

Classes do uso do solo	Coeficientes de Exportação		Carga Poluente de Origem Difusa	
	Azoto total (k/ha.ano) <sup>11</sup>	Fósforo total (kg/ha.ano) <sup>12</sup>	Azoto total (kg/ano)	Fósforo total (kg/ano)
Agricultura	4,3	0,3	10 246	715
Águas interiores	0,0	0	0,00	0
Floresta	1,0	0,05	5 919	296
Improdutivos	0,0	0	0,00	0
Incultos	0,0	0,3	0,00	1 704
Social	0,7	0,2	96	27
<b>Total</b>			<b>30 465</b>	<b>2 743</b>

O Quadro 39 apresenta as cargas totais de poluição de origem tónica e de origem difusa, em kg/ano, para a albufeira de Póvoa e Meadas.

**Quadro 39** – *Estimativa da carga de azoto total e fósforo total afluente à bacia hidrográfica da Póvoa e Meadas.*

Tipo de Poluição	Carga poluente total na B.H. de Póvoa e Meadas	
	Azoto total (kg/ano)	Fósforo total (kg/ano)
Tónica	47 470	7 779
Difusa	30 465	2 743
<b>Total</b>	<b>77 935</b>	<b>10 522</b>

A totalidade da carga anual de poluição difusa nas bacias hidrográficas em estudo resulta do somatório das cargas de poluição difusa anuais, para cada um dos nutrientes em estudo, associados aos diversos usos do solo.

<sup>11</sup> (Robalo, 2001)

<sup>12</sup> (Diogo *et al.*, 2003)

### 5.3. RELAÇÃO ENTRE CARGAS AFLUENTES E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA MASSA DE ÁGUA: COMPARAÇÃO ENTRE VALORES ESTIMADOS E MEDIDOS

As concentrações de nutrientes medidos nas massas de água da albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 encontram-se no Quadro 18 e Quadro 21, respectivamente.

As concentrações de nutrientes estimadas para a massa de água foram obtidas através do método de exportação de poluentes, considerando as cargas estimadas de origem tópica e difusa. Para a determinação das cargas difusas foram utilizados os coeficientes de exportação que permitiram maior aproximação às concentrações efectivamente medidas nas duas albufeiras. Determinadas as cargas totais, o volume médio de armazenamento e o caudal foi possível aplicar o modelo de Metcalf & Eddy descrito em 3.3.5, e aplicar a Equação 11 e Equação 12 para estimar a concentração de nutrientes na massa de água.

Como referido anteriormente este método permite estimar a concentração de nutrientes na massa de água, através de uma relação entre a carga de nutrientes afluente por ano e o caudal médio anual da albufeira, ou seja, relacionando a Equação 12 e 13 verifica-se que:

$$\text{Concentração na massa de água (C)} = \text{Carga afluente anual} / (\text{Caudal médio anual (Q)} + K) \quad (\text{Equação 17})$$

Em que K é a constante de tempo de retenção normalizado,  $T^{-1} = 3 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

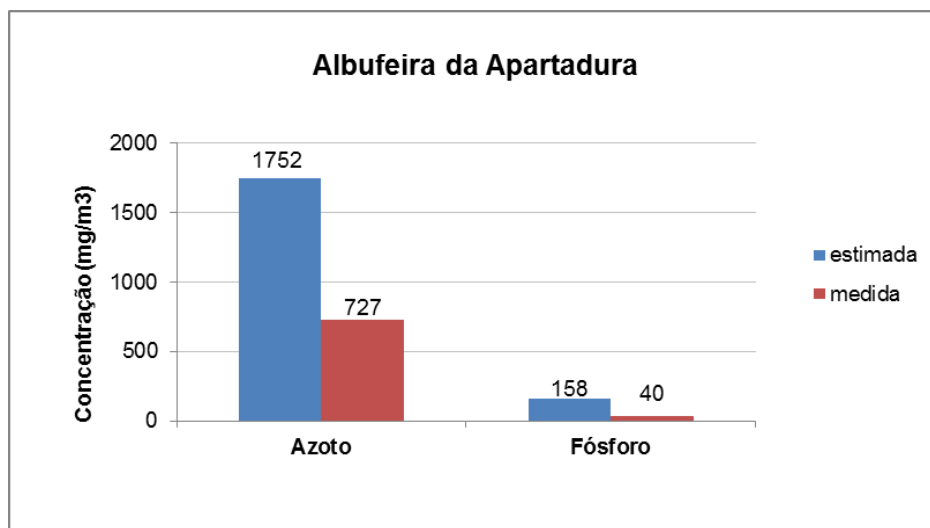
Considerando os caudais médios anuais determinados para as duas albufeiras (Quadro 12) e a carga de azoto total e fósforo total afluente determinada para cada uma das albufeiras, aplicando a (Equação 17) calculou-se a concentração de média de azoto total e fósforo total para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 (concentração estimada).

As concentrações médias estimadas de azoto e fósforo, determinadas a partir da contabilização das cargas provenientes de fontes pontuais e difusas, e as concentrações médias efectivamente medidas nas massas de água, apresentam-se no Quadro 40.

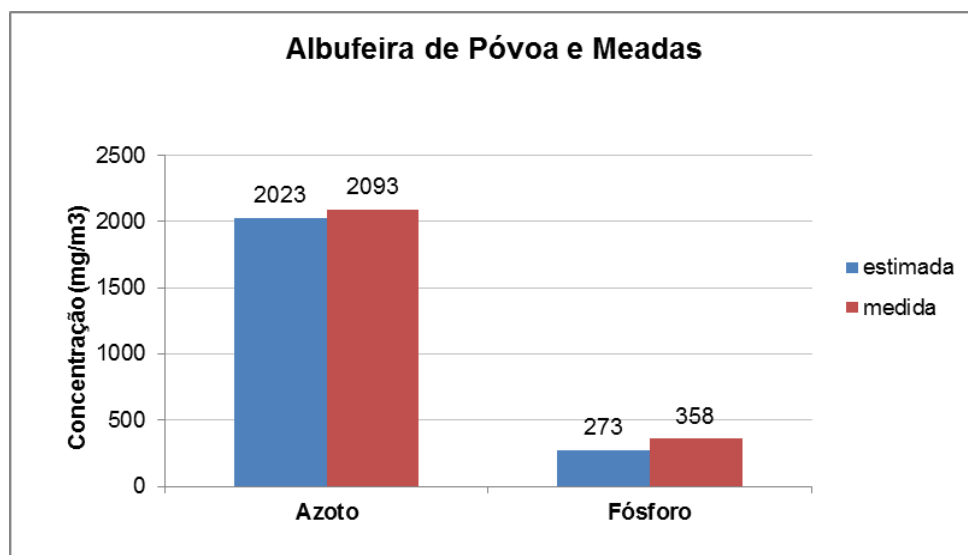
**Quadro 40** – Concentrações de azoto total e fósforo total estimadas e medidas para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Concentração Estimada (mg/m <sup>3</sup> )		Concentração média Medida (mg/m <sup>3</sup> )	
	Azoto	Fósforo	Azoto	Fósforo
Apartadura	1 752	158	727	40
Póvoa e Meadas	2 023	273	2 093	358

A Figura 11 e a Figura 12 ilustram a variação entre as concentrações de azoto total e fósforo total estimadas e as medidas na massa de água das duas albufeiras (medias aritméticas dos valores obtidos nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006).



**Figura 11** – Concentrações de azoto e fósforo estimadas e medidas na albufeira da Apartadura.



**Figura 12** - Concentrações de azoto e fósforo estimadas e medidas na albufeira de Póvoa e Meadas.

Por comparação das concentrações determinadas com as médias das concentrações medidas na massa de água, verificou-se que a estimativa realizada para a concentração de azoto, com base nas taxas de exportação de poluentes é muito superior à concentração média de azoto medida na massa de água da albufeira da Apartadura. Para o fósforo as cargas totais estimadas são também bastante superiores à concentração medida na massa de água da albufeira da Apartadura.

Ao contrário do que se verificou na albufeira da Apartadura, na albufeira de Póvoa e Meadas a concentração estimada de azoto total é inferior à concentração medida. Para o fósforo total verificou-se a mesma relação, sendo a concentração estimada 85 mg/m<sup>3</sup> inferior à concentração medida.

## 5.4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DAS ALBUFEIRAS

## 5.4.1. RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE MÉDIA E AS CARGAS DE NUTRIENTES AFLUENTES

A profundidade média e a carga de nutrientes anteriormente estimadas para cada uma das albufeiras em estudo, encontra-se no Quadro 41.

A carga afluyente por unidade de área foi determinada através da divisão da carga total de azoto total e fósforo total que se estimou afluir, pela área inundada de cada uma das albufeiras (48 ha para a albufeira da Apartadura e 225 ha para a albufeira de Póvoa e Meadas).

**Quadro 41** - Carga de fósforo total e de azoto total ( $\text{g/m}^2\cdot\text{ano}$ ) afluentes às albufeiras em estudo e respectivas profundidades médias.

Albufeira	Profundidade média (m)	Carga afluyente de Azoto Total ( $\text{g/m}^2\cdot\text{ano}$ )	Carga afluyente de Fósforo Total ( $\text{g/m}^2\cdot\text{ano}$ )	Carga máxima Permissível ( $\text{g/m}^2\cdot\text{ano}$ )		Carga máxima Perigosa ( $\text{g/m}^2\cdot\text{ano}$ )	
				Azoto	Fósforo	Azoto	Fósforo
Apartadura	14,70	7,64	0,69	1,5	0,1	3,0	0,2
Póvoa e Meadas	18,50	34,5	4,66	1,5	0,1	3,0	0,2

A albufeira da Apartadura apresenta valores de carga afluyente de azoto total bastante superiores à carga máxima permissível e máxima perigosa, apresentadas por com Vollenweider (1976), para uma profundidade média superior a 10 m. Relativamente à carga de fósforo total afluyente à albufeira da Apartadura verificou-se também que esta é superior à carga máxima perigosa.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas verifica-se que tanto a carga afluyente de azoto total como a de fósforo total são superiores à carga máxima perigosa, sendo por isso consideradas como cargas perigosas.

## 5.4.2. CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO

Com base nas concentrações médias de azoto e fósforo nas duas albufeiras nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006 (Quadro 42) foi efectuada a classificação do seu estado trófico segundo Vollenweider (1968).

Os valores de azoto inorgânico determinados para a albufeira da Apartadura encontram-se apresentados no Quadro 19, e para a albufeira de Póvoa e Meadas encontram-se no Quadro 22.

**Quadro 42 - Concentração de azoto inorgânico e fósforo total nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006, para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.**

Albufeira	Ano Hidrológico	Concentração de Azoto Inorgânico (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração de Fósforo Total (mg/m <sup>3</sup> )
Apartadura	2004/2005	249	40
	2005/2006	295	40
Póvoa e Meadas	2004/2005	533	280
	2005/2006	468	436

De acordo com o critério de Vollenweider (1968) verifica-se a albufeira da Apartadura se encontrava no estado Eu-politrófico, em ambos os anos hidrológicos analisados. Quanto à albufeira de Póvoa e Meadas verifica-se que o seu estado trófico apresentava maior grau de deterioração, sendo classificada por este critério como Politrófico, nos dois anos hidrológicos analisados, considerando o fósforo total o parâmetro mais desfavorável.

No Quadro 43 são apresentados os parâmetros necessários à classificação do estado trófico com base nos pressupostos apresentados pela OCDE (1982), para as duas albufeiras e para cada um dos anos hidrológicos.

**Quadro 43 – Concentração média de fósforo, clorofila a e disco de Secchi nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006 para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.**

Albufeira	Ano Hidrológico	Concentração de Fósforo (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração de Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração Máxima de clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Disco Secchi (m)	Mínimo de disco de Secchi (m)
Apartadura	2004/2005	40	3,0	18	2,7	2,5
	2005/2006	40	3,7	6,6	3,0	1,8
Póvoa e Meadas	2004/2005	280	30,5	58,8	0,7	0,6
	2005/2006	436	38,5	110,7	0,7	0,6

Avaliando os dados de qualidade da água das duas albufeiras em estudo, pela classificação da OCDE, verifica-se que a albufeira da Apartadura se encontra no estado Eutrófico nos dois anos hidrológicos considerados. Esta classificação foi atribuída considerando o parâmetro mais desfavorável que foi, em ambos os anos hidrológicos, o fósforo.

A albufeira de Póvoa e Meadas apresenta no período analisado, valores muito elevados de concentração de fósforo, clorofila a e disco de Secchi, sendo portanto classificada como Hiper-eutrófica nos dois anos hidrológicos.

No Quadro 44 são apresentados as médias geométricas das concentrações de fósforo total e de clorofila *a* e oxigénio dissolvido, registados para as duas albufeiras, em cada um dos anos hidrológicos para serem analisados pelo critério de classificação do estado trófico definido pelo INAG.

**Quadro 44** – Média geométrica das concentrações de fósforo total, clorofila *a* e oxigénio dissolvido nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006, para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Ano Hidrológico	Concentração de Fósforo (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração de Clorofila <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	Oxigénio Dissolvido (% saturação)
Apartadura	2004/2005	32	1,8	84,0
	2005/2006	34	3,2	83,2
Póvoa e Meadas	2004/2005	270	24,8	77,7
	2005/2006	390	23,6	81,1

Pelo critério do INAG a albufeira da Apartadura encontrava-se no estado Mesotrófico, em ambos os anos hidrológicos, e considerando os valores de fósforo (valor mais desfavorável). No entanto, esta albufeira apresentou em ambos anos hidrológicos, valores de fósforo muito próximos do estado Eutrófico.

De acordo com este critério a albufeira de Póvoa e Meadas encontrava-se no estado Eutrófico, nos dois anos hidrológicos em estudo, e considerando o factor mais desfavorável – fósforo total.

#### ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON (TSI)

As concentrações médias dos parâmetros necessários à determinação do TSI, e os respectivos valores de TSI determinados para cada um dos parâmetros, encontram-se indicadas no Quadro 45, para cada uma das albufeiras e para os dois anos hidrológicos.

**Quadro 45** – Valores de TSI e valores médios de disco de Secchi, concentração de fósforo total e de clorofila *a* para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas, nos anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006.

Albufeira	Ano Hidrológico	Profundidade do disco de Secchi (m)		Fósforo Total (µg/l)		Clorofila (µg/l)	
		Valor médio	TSI	Valor médio	TSI	Valor médio	TSI
Apartadura	2004/2005	2,7	46	40	59	3,0	46
	2005/2006	3,0	51	40	58	3,7	48
Póvoa e Meadas	2004/2005	0,7	66	280	84	30,1	57
	2005/2006	0,7	66	436	91	38,5	57

Considerando o parâmetro mais desfavorável para as duas albufeiras, o fósforo total, verifica-se que a albufeira da Apartadura apresenta um TSI=59 no ano 2004/2005 e um TSI=58 no ano hidrológico 2005/2006. Como referido anteriormente, um TSI entre 53 e 60 indica que a massa de água se encontra no estado Eutrófico, neste caso para ambos anos hidrológicos estudo.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas regista-se um TSI=84 (para o fósforo total) no ano 2004/2005 e um TSI=91 no ano hidrológico 2005/2006. Estamos perante uma massa de água muito deteriorada, apresentando-se no estado Hipertrófico em ambos os anos hidrológicos em estudo.

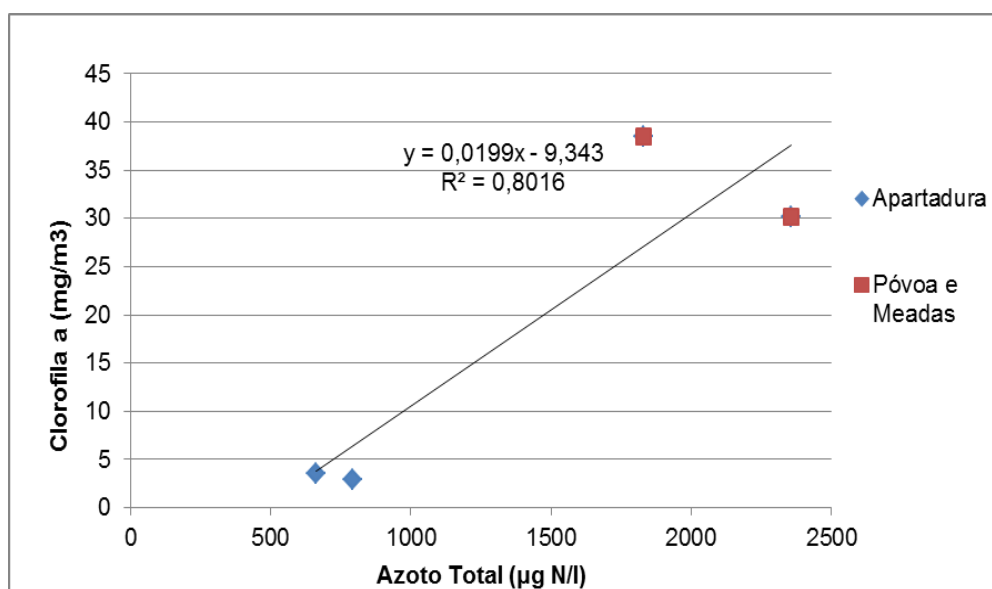
Nas análises feitas anteriormente, resultantes do sistema de classificação da OCDE, a albufeira de Póvoa e Meadas foi classificada como Hiper-trófica, o que aconteceu também aconteceu com o sistema TSI. Da mesma forma, a albufeira da Apartadura foi classificada como Eutrófica em ambos os sistemas de classificação.

## 5.5. RELAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E A CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA A

### 5.5.1. RELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES E CLOROFILA A – VALORES MEDIDOS NAS ALBUFEIRAS

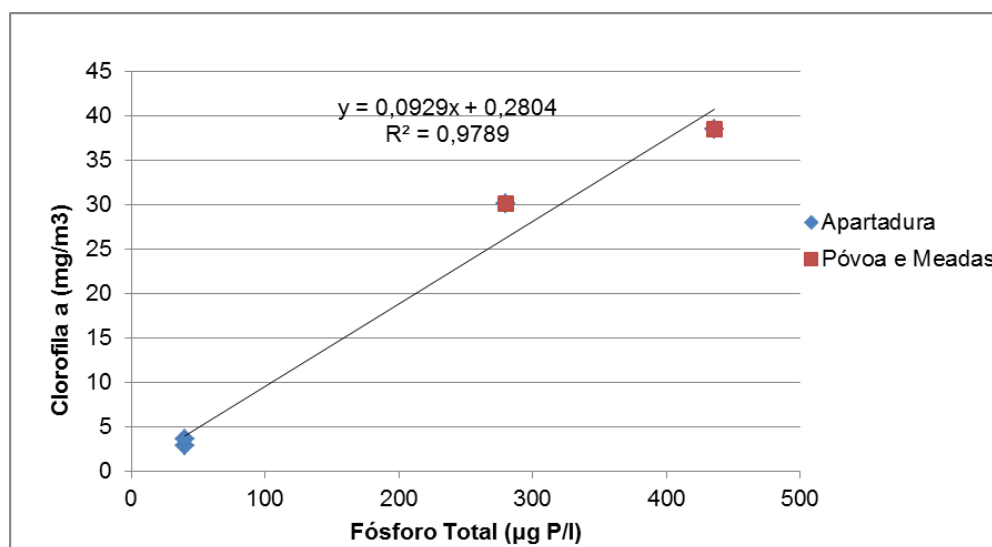
Para verificar as relações existentes entre os nutrientes e a clorofila *a*, nas duas albufeiras em estudo, analisaram-se os valores de concentrações médias anuais de fósforo e clorofila *a*, medidos nas duas albufeiras, para os dados dos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006 (Quadro 18 e Quadro 21).

A relação entre a concentração média de clorofila *a* e a concentração média anual do azoto total, para a albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, encontra-se apresentada na Figura 13.



**Figura 13** - Relação entre as concentrações médias anuais de azoto total e as concentrações médias anuais de clorofila *a* para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

A relação entre a concentração média de clorofila *a* e a concentração média anual do fósforo total registado nas albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas, encontra-se apresentada na Figura 14.



**Figura 14** - Relação entre as concentrações médias anuais de fósforo total e as concentrações médias anuais de clorofila *a* para as albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Pela análise da Figura 13, verifica-se que com aumento da concentração de azoto total, a concentração de clorofila *a* também aumenta.

Tal como demonstrado por Sakamoto (1966) à medida que a concentração de azoto total aumenta, a concentração de clorofila *a* também aumenta, no entanto esta relação não é estatisticamente significativa para as amostras analisadas. Conclui-se assim, que existem outros factores que condicionam o desenvolvimento do fitoplâncton não permitindo que o mesmo surgesse em estreita ligação com a concentração de azoto.

Verifica-se também que com o aumento da concentração de fósforo total, a concentração de clorofila *a* também aumenta, sendo esta relação muito significativa com um  $R^2=0,979$ , para uma confiança de 95%.

A avaliação da significância estatística das correlações anteriores e das subsequentes foram efectuadas com base nos valores críticos do Coeficiente de Correlação de Pearson com base no número de amostras analisadas.

A existência de correlação estatisticamente significativa entre o fósforo total e a clorofila *a* permite estimar o valor de concentração de clorofila *a*, a partir das concentrações de fósforo total, para as duas albufeiras em estudo. Para o azoto total não se verificou existir relação estatisticamente significativa, pelo que para estas albufeiras, a determinação da concentração de clorofila *a* através da concentração de azoto total poderá apresentar erros.

A relação demonstrada por Lund (1970), entre a concentração máxima de fósforo solúvel no inverno e a concentração máxima de clorofila *a* no verão, foi testada para as duas albufeiras em

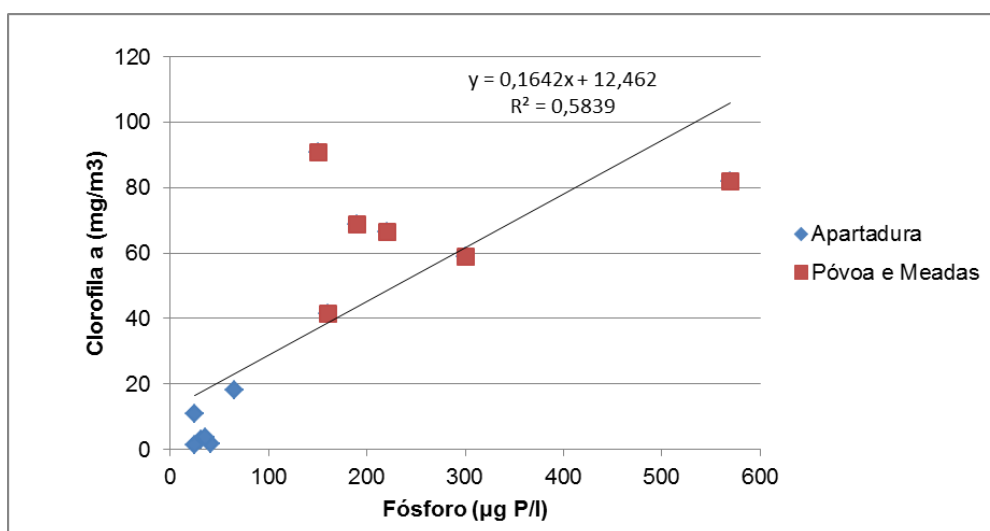


estudo. Esta relação foi testada com base nas concentrações máximas de clorofila *a* medidas durante os meses de verão, e nas concentrações máximas de fósforo total medidas nos meses de inverno, para os anos hidrológicos compreendidos entre 2000/2001 e 2005/2006 (Anexo 3).

Os dados utilizados nesta análise e nas análises subsequentes dizem respeito aos dados de qualidade de água superficial, relativos à estação de amostragem da albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, disponibilizados pela CCDRA no sítio <http://snirh.inag.pt/> (consultado em Maio de 2007).

A análise de dados de períodos anteriores (entre 2000 e 2004) prende-se com a necessidade de considerar maior número de amostras, que permitam a avaliação estatística das relações entre os nutrientes em estudo, com base em concentrações sazonais.

A relação entre a concentração máxima de fósforo solúvel no inverno e a concentração máxima de clorofila *a* no verão, para as duas albufeiras em estudo, encontra-se na Figura 15.

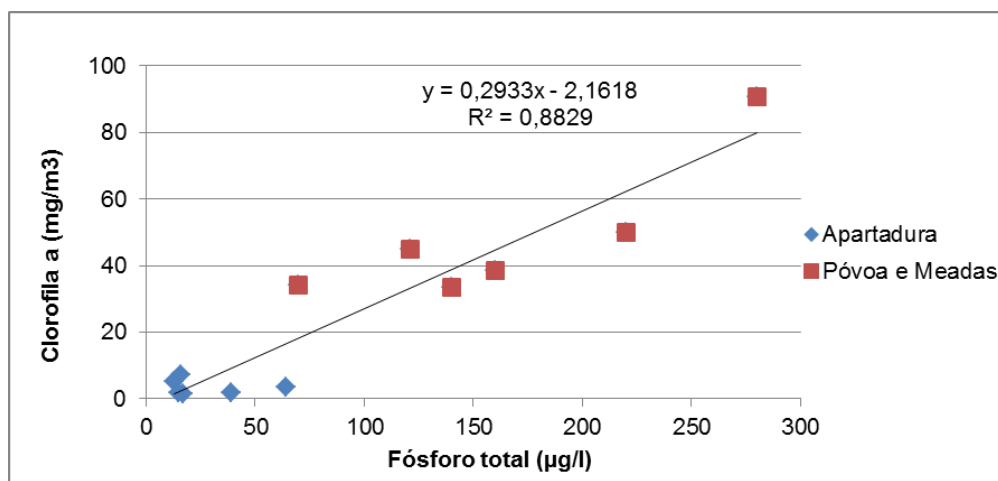


**Figura 15** - Relação entre a concentração máxima de fósforo total no inverno e a concentração máxima de clorofila *a* no verão, para a albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

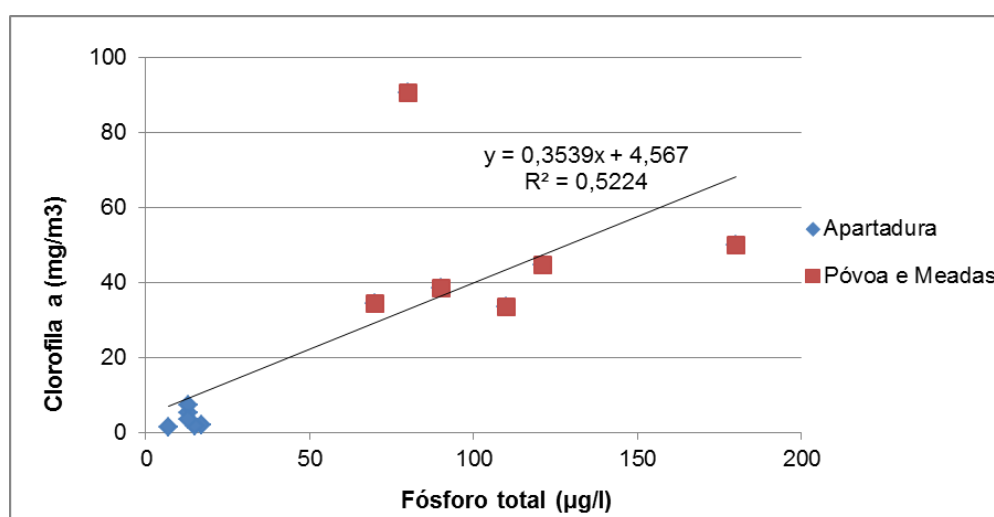
Verifica-se que existe correlação estatisticamente significativa entre a concentração máxima de clorofila *a* no verão e a concentração máxima de fósforo total no inverno, demonstrada por Lund (1970), para as duas albufeiras em estudo ( $R^2=0,584$ ), no entanto esta relação não é tão forte como a verificada anteriormente para o fósforo total médio anual (o coeficiente de correlação é muito próximo do valor crítico, para um grau de confiança de 95%).

Os valores médios de concentração de clorofila *a* de verão são frequentemente usados para definir o estado trófico da albufeira, uma vez que a concentração média de verão representa o fósforo residual, após ocorrer sedimentação, sendo este valor mais próximo da concentração de fósforo presente nas células em suspensão na água.

Na Figura 16 apresenta-se a relação entre a concentração de clorofila *a* média de verão e a concentração mínima de fósforo total no verão, e na Figura 17 está indicada a relação entre a concentração média de clorofila *a* de verão e a concentração mínima anual de fósforo total.



**Figura 16** - Relação entre a concentração média de clorofila a no verão e a concentração mínima de fósforo total no verão para a albufeira da Apartadura.



**Figura 17** - Relação entre a concentração média de clorofila a no verão e a concentração mínima anual de fósforo total para a albufeira de Póvoa e Meadas.

Pela observação da Figura 16 e Figura 17 verifica-se que a concentração de clorofila *a* aumenta com a concentração de fósforo total mínimo de verão, de forma mais intensa do que com a com a concentração de fósforo total mínimo anual. A relação da concentração de clorofila *a* com o fósforo total mínimo de verão apresenta significado estatístico ( $R^2=0,883$ ) para um grau de confiança de 95%, o que não acontece na relação com o fósforo total mínimo de anual ( $R^2=0,522$ ).

#### 5.5.2. ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA A ATRAVÉS DE EQUAÇÕES

A equação determinada por Dillon & Rigler (1974) foi aplicada às duas albufeiras em estudo, com o objectivo de verificar a sua eficácia na determinação da concentração de clorofila *a* média de verão, a partir da concentração média de fósforo total na primavera, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006. Os resultados encontram-se no Quadro 46.

**Quadro 46** – Comparação dos resultados obtidos através da Equação 2 com os valores de Clorofila *a* registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Ano Hidrológico	Fósforo Total médio na primavera (mg/m <sup>3</sup> )	Estimativa de concentração de clorofila <i>a</i> (Eq.2) (mg/m <sup>3</sup> )	Clorofila <i>a</i> (valor medido) (mg/m <sup>3</sup> )	
				Valor médio de verão	Valor máximo
Apartadura	2004/2005	63	18,6	7,2	18,0
Apartadura	2005/2006	25	10,3	3,4	6,6
Póvoa e Meadas	2004/2005	234	42,3	49,9	58,8
Póvoa e Meadas	2005/2006	309	50,4	44,8	110,7

Por observação do quadro anterior, pode-se concluir que a fórmula de previsão de clorofila *a*, para o caso da albufeira da Apartadura, prevê valores de concentração de clorofila *a* superiores aos valores médios registados para os anos hidrológicos de 2004/2005 e 2005/2006. No entanto, se compararmos os valores previstos com a concentração máxima de clorofila *a* registada em cada ano hidrológico, o valor previsto já se encontra mais próximo do valor máximo de clorofila *a* registado, sendo ligeiramente superior no ano hidrológico 2004/2005 e um pouco mais elevado para ano hidrológico 2005/2006.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas, a concentração de clorofila *a* prevista é muito próxima (apenas ligeiramente inferior) à concentração média registada nas duas albufeiras e nos dois anos hidrológicos em estudo. As concentrações máximas de clorofila *a* registadas deverão estar relacionadas com outros factores que não a concentração de fósforo total na primavera.

A Equação 3, proposta por Jones & Bachmann em 1976, também foi aplicada às albufeiras em estudo, cujos resultados se apresentam no Quadro 47.

**Quadro 47** – Comparação dos resultados obtidos através da Equação 3 com os valores de clorofila *a* registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Ano Hidrológico	Concentração média de Fósforo Total no verão (mg/m <sup>3</sup> )	Estimativa de concentração de clorofila <i>a</i> (Eq.3) (mg/m <sup>3</sup> )	Clorofila <i>a</i> (valor medido) (mg/m <sup>3</sup> )	
				Valor médio de verão	Valor máximo
Apartadura	2004/2005	33	3,1	7,2	18,0
Apartadura	2005/2006	85	5,6	3,4	6,6
Póvoa e Meadas	2004/2005	296	12,4	49,9	58,8
Póvoa e Meadas	2005/2006	294	12,4	44,8	110,7

Por observação do Quadro 47, conclui-se que a fórmula de previsão de Jones & Bachmann para clorofila *a*, no caso da albufeira da Apartadura, prevê um valor de concentração de clorofila *a* inferior ao valor médio registado no ano hidrológico 2004/2005. No ano hidrológico 2005/2006, o valor

de clorofila *a* previsto já é superior ao valor médio, mas próximo do valor máximo de clorofila *a* registado.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas a concentração de clorofila *a* prevista é bastante inferior à concentração média de clorofila *a* registada, em ambos os anos hidrológicos, pelo que se pode concluir que o modelo de Jones & Bachmann não deve aplicar-se às albufeiras em estudo.

A equação determinada por Smith (1982) foi também aplicada às duas albufeiras em estudo, os resultados encontram-se no Quadro 48.

**Quadro 48** – Comparação dos resultados obtidos através da Equação 4 com os valores de clorofila *a* registados na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Ano Hidrológico	Concentração média de Fósforo Total (mg/m <sup>3</sup> )	Concentração média de Azoto Total (mg/m <sup>3</sup> )	Estimativa de concentração de clorofila <i>a</i> (Eq.4) (mg/m <sup>3</sup> )	Clorofila <i>a</i> (valor medido) (mg/m <sup>3</sup> )	
					Valor médio	Valor máximo
Apartadura	2004/2005	40	792	3,1	3,0	18,0
Apartadura	2005/2006	40	661	2,9	3,6	6,6
Póvoa e Meadas	2004/2005	280	2 356	6,9	30,5	58,8
Póvoa e Meadas	2005/2006	436	1 830	7,5	38,5	110,7

O resultado previsto pela equação de Smith para a albufeira da Apartadura é muito próximo do valor médio registado em 2004/2005. No ano hidrológico 2005/2006, o valor estimado é apenas ligeiramente inferior à concentração média de clorofila *a* registada na albufeira.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas e nos anos hidrológicos em estudo, verifica-se que o valor de clorofila *a* estimado é muito inferior à concentração média registada.

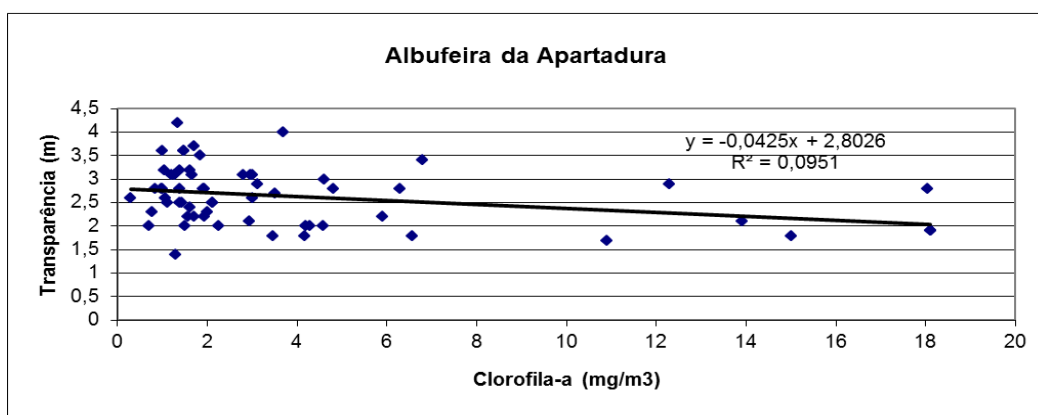
Note-se que os valores de clorofila *a* estimados através desta equação podem conter erros, uma vez que anteriormente se verificou não existir correlação significativa entre a concentração de clorofila *a* e o azoto total, nas albufeiras em estudos e nos dois anos hidrológicos analisados.

## 5.5.3. CORRELAÇÕES ENTRE A CLOROFILA A E TRANSPARÊNCIA

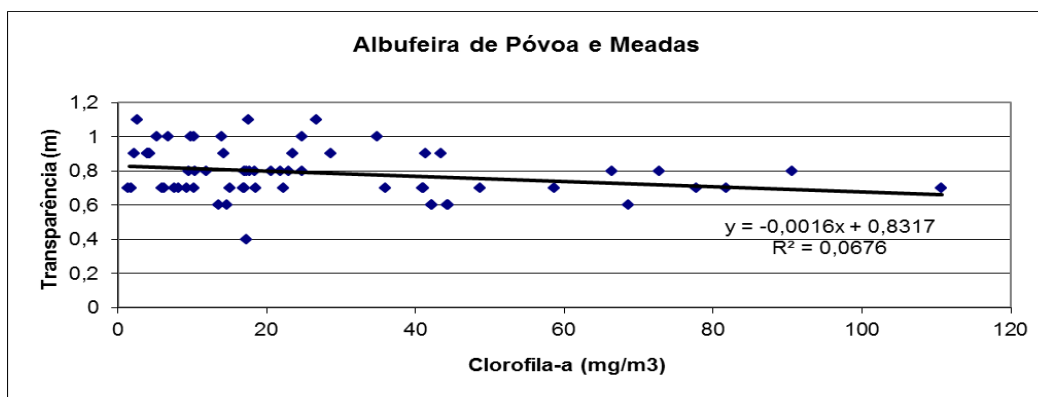
A relação entre transparência e biomassa, que é normalmente expressa pela extensão do disco de Secchi versus clorofila *a*, pode ser observada na Figura 18 e Figura 19, para as albufeiras de Apartadura e de Póvoa e Meadas, respectivamente.

Os dados analisados referem-se às medições dos parâmetros de qualidade de água superficial, no período entre 2001 e 2006, e registados nas estações de amostragem da albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, encontram-se apresentados no Anexo 4 e Anexo 5, respectivamente.

Nesta correlação foram analisados dados compreendidos entre o período 2001 e 2006, de forma a recolher maior quantidade de dados, permitindo uma melhor avaliação da possível correlação com significado estatístico.



**Figura 18-** Relação entre a concentração de clorofila *a* e transparência na albufeira da Apartadura.



**Figura 19-** Relação entre a concentração de clorofila *a* e a transparência na albufeira de Póvoa e Meadas.

Na albufeira da Apartadura verifica-se que até uma concentração de aproximadamente 6 mg/m<sup>3</sup> de clorofila *a*, não existe relação entre transparência e biomassa. No entanto, a partir deste valor, verifica-se que quanto maior a concentração de clorofila *a* na massa de água, menor é o valor do disco de Secchi (transparência).

Da mesma forma, na albufeira de Póvoa e Meadas não se verifica nenhuma tendência até uma concentração de aproximadamente 30 mg/m<sup>3</sup>, valor a partir do qual se observa que quanto maior a concentração de clorofila *a* na massa de água, menor é o valor do disco de Secchi (transparência).

Da observação das duas figuras anteriores, percebe-se que a concentração de clorofila *a* na albufeira de Póvoa e Meadas é bastante superior à da albufeira da Apartadura e, portanto, os valores de transparência nesta albufeira são inferiores aos da albufeira da Apartadura.

#### 5.5.4. COMPARAÇÃO DOS DADOS ESTIMADOS PELOS DIVERSOS MÉTODOS COM OS VALORES REAIS

A relação entre a concentração de clorofila *a* e a concentração de fósforo total e azoto total foi analisada, utilizando os valores medidos na albufeira da Apartadura e na albufeira de Póvoa e Meadas. E tal como demonstrado por Sakamoto (1961), também nas duas albufeiras em estudo existe uma forte relação entre a concentração de fósforo total e a concentração de clorofila *a*, verificando-se que a concentração de clorofila *a* aumenta, com o aumento da concentração fósforo total, apresentando um  $R^2=0,979$  para um grau de confiança de 95%. Esta tendência é verificada também entre a concentração de clorofila *a* e a concentração de azoto total, mas neste caso a relação não é estatisticamente significativa.

Ao analisar a relação apresentada por Lund (1970), entre a concentração máxima de fósforo total no inverno e a concentração máxima de clorofila *a* no verão, verificou-se que para as duas albufeiras em estudo esta relação é mais fraca ( $R^2=0,584$ ), apesar de se observar um aumento da concentração máxima da clorofila *a* (verão), com a concentração máxima de fósforo total (inverno).

Os valores médios de concentração de clorofila *a* de verão são considerados mais próximo da concentração de fósforo presente nas células da água, pelo que se analisou a relação da concentração da clorofila *a* nesta estação, com a concentração mínima de fósforo total no verão, e a concentração mínima de fósforo total anual. A relação da concentração de clorofila *a* com o fósforo mínimo de verão é muito intensa ( $R^2=0,883$ ) para um nível de confiança de 95%, situação não verificada na relação com o fósforo mínimo anual ( $R^2=0,523$ ).

Através da aplicação de equações elaboradas por diversos autores, pretendeu-se verificar se era possível estimar a concentração de clorofila *a* através da concentração de fósforo total e azoto total medidas em cada uma das albufeiras, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

No Quadro 49 encontram-se as variações entre a concentração de clorofila *a* estimadas através das várias equações testadas, e os valores efectivamente medidos (valores médios e máximo) em cada uma das albufeiras, e para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

**Quadro 49** - *Variação entre a concentração de clorofila *a* estimada e a medida (valor máximo e valor médio) na albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.*

Albufeira	Ano Hidrológico	Dillon & Rigler (1974)		Jones & Bachmann (1976)		Smith (1982)	
		Valor máximo	Valor médio	Valor máximo	Valor médio	Valor máximo	Valor médio
Apartadura	2004/2005	0,6	11,4	-14,9	-3,8	-14,9	0,1
	2005/2006	3,7	6,9	-1,0	2,2	-3,7	-0,7
Póvoa e Meadas	2004/2005	-16,4	-7,6	-46,4	-37,5	-51,9	-23,6
	2005/2006	-60,3	5,6	-98,3	-32,4	-103,2	-31,0

A equação apresentada por Dillon & Rigler (1974) que considera a concentração de fósforo total médio de primavera estimou valores de concentração de clorofila *a* médias de verão bastante superiores (cerca de 9 mg/m<sup>3</sup>) aos valores deste parâmetro medido na albufeira de Apartadura nos dois anos hidrológicos. Para a albufeira de Póvoa em 2004/2005 verificou-se que a concentração de clorofila *a* estimada é inferior à concentração média e máxima de verão registada. Em 2005/2006 verificou-se o mesmo comportamento relativamente ao valor máximo, e uma inversão de comportamento (concentração estimada superior à medida) relativamente ao valor médio.

Os valores de concentração de clorofila *a* estimados para a albufeira da Apartadura, pela equação de Jones & Bachmann (1976), que considera a concentração média de fósforo no verão, são inferiores para o ano hidrológico 2004/2005 (cerca de menos 9 mg/m<sup>3</sup>). No ano hidrológico 2005/2006 verifica-se que a estimativa da concentração de clorofila *a* é muito próxima do valor máximo medido (1 mg/m<sup>3</sup> inferior), e ligeiramente superior ao valor médio medido na albufeira da Apartadura.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas este modelo estimou valores de concentração de clorofila *a* muito inferiores aos registados para os dois anos em estudo (cerca de menos 53 mg/m<sup>3</sup>).

A equação de Smith (1982), que considera a concentração média de fósforo total e azoto total, permitiu estimar valores de concentração de clorofila *a* muito próximos dos valores médios medidos na albufeira da Apartadura nos dois anos hidrológicos. Para a albufeira de Póvoa e Meadas o valor estimado em ambos anos hidrológicos, é consideravelmente inferior ao valor médio registado (em média 27 mg/m<sup>3</sup> inferior). Relativamente à concentração máxima medida na albufeira de Póvoa e Meadas verifica-se que esta é muito superior ao valor de concentração estimada nos dois anos em estudo.

Comparando os resultados obtidos pelas equações testadas, verifica-se que para a albufeira da Apartadura, a equação de Smith (1982) foi a que permitiu obter resultados de concentração média de clorofila *a* mais próximos dos valores medidos nos dois anos hidrológicos.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas foi a equação de Dillon & Rigler (1974) que permitiu obter estimativas da concentração de clorofila *a* média, mais próximas (superior em cerca de 6,5 mg/m<sup>3</sup>) das efectivamente medidas na albufeira, para os dois anos hidrológicos em estudo.

As diferenças entre as concentrações de clorofila *a* estimadas e as medidas nas albufeiras podem estar relacionadas com as variações de clorofila *a* nas células, provocadas por factores tão diversos como a radiação ou a disponibilidade de outros nutrientes na massa de água, ou com o facto das concentrações medidas de fósforo serem referentes a fósforo não-celular (Cooke *et al.*, 1993).

Outro factor explicativo das diferenças de valores estimados, é a utilização de equações logarítmicas para expressar as relações entre fósforo total e clorofila *a*. Tal como referido anteriormente, os autores das equações utilizaram grande quantidade de dados para analisar as relações existentes entre nutrientes e biomassa, tendo definido por isso um modelo de previsão com base em funções logarítmicas, no entanto este tipo de modelo não é o mais preciso quando se pretende estimar concentrações em albufeiras, de uma forma individual (Cooke, *et al.* 1993).

A equação definida por Smith (1982) que considera a concentração média de fósforo total e azoto total, é considerada a mais adequada para a previsão de concentração de clorofila *a*, em albufeiras altamente eutrofizadas, comparativamente com as equações que apenas consideram a concentração de fósforo total (Cooke, *et al.* 1993). Esta equação revelou-se a mais adequada à albufeira da Apartadura, no entanto, foi demonstrado neste trabalho que para as duas albufeiras em estudo (e nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006) não se verificou existir correlação entre a concentração de azoto total e a concentração de clorofila *a*, pelo que a utilização desta equação na estimativa da concentração de clorofila *a*, poderá ter alguns erros associados.

A relação entre a transparência e a concentração de clorofila *a*, para as duas albufeiras em estudo, para dados de 2001 a 2006, não é significativa ( $R^2 = 0,0951$  para a albufeira da Apartadura e  $R^2 = 0,0676$  para a albufeira de Póvoa e Meadas). No entanto, a partir de concentrações de 6 e 30  $\text{mg/m}^3$  de clorofila *a*, para a albufeira da Apartadura e Póvoa e Meadas respectivamente, já se observa uma tendência de decréscimo da transparência.



## 6. CONCLUSÕES

Neste estudo estimaram-se as cargas de poluentes (azoto total e fósforo total) de origem tónica e difusa, afluentes às albufeiras da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

A concentração de azoto total de origem tónica e difusa que se estimou afluir à albufeira da Apartadura é muito superior ( $1025 \text{ mg/m}^3$ ) à concentração deste nutriente efectivamente medida na massa de água. Nesta albufeira, verificou-se que a carga de azoto total estimada com origem difusa é 3,5 ton/ano superior à carga de origem tónica, o que indica que o principal factor de erro associado à estimativa efectuada poderá ser proveniente das cargas difusas, e por outro lado revela a importância do estudo das fontes difusas, no controlo e determinação da carga poluente afluente às massas de água.

Desta forma, verifica-se que para a albufeira da Apartadura os coeficientes de exportação de azoto total, utilizados na determinação das cargas de origem difusa não se revelaram os mais adequados, devendo ainda ser alvo de estudo no sentido de obter taxas de exportação mais adequadas à utilização do solo, que permitam obter cargas mais próximas das efectivamente rejeitadas na albufeira.

Por outro lado, as cargas de origem tónica provenientes de fontes urbanas, apesar de não terem qualquer tipo de tratamento dos seus efluentes, poderão sofrer alguma retenção no solo, não sendo assim a totalidade da carga de azoto produzida por estas fontes, a que chega efectivamente à albufeira da Apartadura, podendo por este motivo existir alguma sobrestimação da carga de azoto afluente.

Relativamente ao fósforo total verificou-se que a carga estimada para a albufeira da Apartadura, permitiu maior aproximação à concentração de fósforo total efectivamente medida na massa de água, contudo a concentração estimada é bastante superior ( $118 \text{ mg/m}^3$ ) à concentração medida nesta albufeira. Considera-se que as cargas estimadas de fósforo total, e os coeficientes de exportação do solo, utilizados na estimativa da carga de fósforo de origem difusa, não são válidos para a análise à albufeira da Apartadura.

Para a albufeira de Póvoa e Meadas verificou-se que a concentração de azoto total de origem tónica e difusa, que se estimou afluir à albufeira é inferior ( $70 \text{ mg/m}^3$ ) à concentração deste nutriente efectivamente medido na albufeira. No entanto, este diferencial é menor do que o verificado para a albufeira da Apartadura, o que poderá ser justificado pela existência de maior número de fontes de poluição tónica (efluentes urbanos e algumas agropecuárias) na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas, e pelo facto da maioria das fontes de poluição tónica não apresentarem sistema de tratamento de efluentes, aumentando as cargas de azoto rejeitadas na albufeira.

Tal como já referido para a albufeira da Apartadura, também na albufeira de Póvoa e Meadas se verificou que os coeficientes de exportação de azoto total, utilizados para determinar as cargas de origem difusa, podem ainda ser alvo de desenvolvimento no sentido de obter taxas de exportação mais próximas das cargas efectivamente afluentes à albufeira. Contudo, para a albufeira de Póvoa e

Meadas considera-se que os coeficientes de exportação de azoto total utilizados são aceitáveis para estimar as cargas afluentes deste nutriente.

Na albufeira de Póvoa e Meadas, a concentração de fósforo que se estimou é inferior ( $85 \text{ mg/m}^3$ ) à concentração medida na massa de água. Considera-se no entanto, que as cargas estimadas de fósforo total e os coeficientes de exportação do solo, utilizados na estimativa das cargas de fósforo de origem difusa, são aceitáveis para albufeira de Póvoa e Meadas.

Na albufeira de Póvoa e Meadas verifica-se que as cargas estimadas de origem tópica são em maior quantidade do que as cargas de origem difusa, para o azoto total e para o fósforo total. Para esta albufeira verificou-se um menor diferencial entre as concentrações estimadas e as concentrações medidas, o que permite concluir que quanto maior o volume de cargas de origem tópica afluentes à albufeira, maior a aproximação das cargas estimadas às cargas medidas.

Na albufeira da Apartadura as cargas estimadas de origem difusa são muito superiores às cargas de origem pontual, representando cerca de 90% do total das cargas que se estimaram afluir à albufeira.

As cargas de origem tópica são alvo de estudo há vários anos, ocorrendo aperfeiçoamento dos cálculos de determinação das cargas poluentes (principalmente dos nutrientes azoto total e fósforo total) vindas de várias fontes deste tipo de poluição (Urbanas, Agropecuárias e Industriais). O facto de existir legislação na regularização das cargas rejeitadas no solo, para este tipo de fontes de poluição, contribuiu para que os estudos efectuados e as cargas estimadas por habitante equivalente e animal equivalente sejam muito aproximados do valor medido na albufeira.

Neste estudo avaliaram-se duas albufeiras que apesar de geograficamente próximas, apresentam características geomorfológicas, ocupação e utilização do solo muito distintas, pelo que a utilização das mesmas taxas de exportação do solo, para a albufeira de Póvoa e Meadas se revelou adequada, o mesmo não se verificou para a albufeira da Apartadura. Conclui-se assim, que nas albufeiras em estudo, a utilização do solo tem grande influência nas cargas afluentes à massa de água, devendo as taxas de exportação do solo ser o mais adequadas possível à utilização do solo.

A discrepância nos resultados obtidos para a albufeira da Apartadura deve-se à sobre-estimação das cargas difusas, devendo recorrer-se a taxas de exportação do solo mais adaptadas a solos pouco sobrecarregados, ou seja, que não sofrem grande carregamento de nutrientes provenientes de efluentes urbanos e agro-pecuários, e que não são alvo de agricultura intensiva.

Na albufeira de Póvoa e Meadas, o afastamento face às cargas estimadas pode dever-se também a erros associados à estimativa das cargas de origem pontual, que nesta albufeira se apresentam em grande volume.

Existe ainda um longo caminho a percorrer no estudo das estimativas das cargas de origem difusa e na determinação das taxas de exportação por uso do solo, principalmente quanto ao azoto total. Relativamente a este nutriente seria ainda importante identificar as cargas que afluem às massas de água por deposição atmosférica, já que se prevê que esta seja uma das principais fontes de azoto afluente às albufeiras.

Contudo, existem estratégias de redução de cargas afluentes às massas de água, que podem ser adoptadas desde já, para as duas albufeiras em estudo.

A actividade agrícola de origem difusa existente nas duas bacias hidrográficas em estudo é o sector com maior contribuição de cargas poluentes afluentes às massas de água. A estratégia para redução da poluição de origem agrícola passa pela redução do escoamento superficial, redução no uso de fertilizantes e o tratamento eficiente e adequado dos efluentes produzidos nas agro-pecuárias (Merten & Minella, 2002).

A redução do escoamento superficial assenta na melhoria da qualidade da estrutura do solo, e consequente aumento da taxa de infiltração e diminuição do volume escoado. A introdução de barreiras físicas no terreno cortando a direcção do escoamento, através da implantação de terraplanos ou de culturas em faixas, contribui também para a diminuição do escoamento.

O controlo da faixa de vegetação junto à albufeira permite reduzir a carga poluente afluente através do escoamento. Para tal, é necessário garantir o estabelecimento ou manutenção de uma faixa de vegetação densa para filtrar os poluentes transportados no escoamento.

A gestão eficiente dos efluentes provenientes das actividades agro-industriais é também fundamental para reduzir a carga de poluentes afluentes às massas de água. O sistema de controlo destas fontes deve seguir as premissas:

- (a) produção controlada atendendo às taxas permitidas pelo meio;
- (b) localização das actividades em áreas e em ecossistemas com elevada capacidade de suporte; e
- (c) a emissão de efluentes não deve ultrapassar a capacidade de assimilação do meio ambiente (sistemas semi-intensivos e extensivos, p.ex.) (Merten & Minella, 2002).

O tratamento eficiente dos efluentes agro-industriais deve passar pelo recurso a biodigestores, esterqueiras e bioesterqueiras, compostagem e vermicompostagem (adubação), reutilização como ração, lagoas de estabilização, etc (Merten & Minella, 2002).

A redução da poluição da água passa também pela diminuição do uso de agroquímicos, recorrendo a tecnologias menos intensivas no uso de substâncias artificiais e mais intensiva no uso de fertilizantes biológicos. A utilização de práticas agrícolas como rotação de culturas, gestão integradas de pragas e utilização de fertilizantes biológicos podem contribuir para a redução significativa da poluição na massa de água, bem como contribuir para o equilíbrio dos ecossistemas (Merten & Minella, 2002).

Neste estudo, foram analisadas as correlações existentes entre a concentração de nutrientes (fósforo total e azoto total) e a concentração de clorofila *a*. Para tal utilizaram-se os dados medidos nas duas albufeiras em estudo, para os anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006, tendo-se verificado que existe uma forte relação entre a concentração de clorofila *a* e a concentração de fósforo total, com um coeficiente de correlação de 0,979 (com nível de confiança de 95%). Verificou-

se não existir relação estatisticamente significativa entre a concentração de clorofila *a* e a concentração de azoto total.

Analizou-se ainda a relação entre a concentração máxima de clorofila *a* de verão e a concentração máxima de fosfatos no inverno, registados nas duas albufeiras, no entanto a correlação encontrada é baixa e sem significado estatístico ( $R^2=0,584$ ), ao contrário do que se verificou na relação entre a concentração máxima de clorofila *a* de verão e a concentração mínima de fosfatos no verão ( $R^2=0,883$ ).

Um dos parâmetros analisados na determinação dos estados tróficos das massas de água é a clorofila *a*. Neste estudo analisaram-se também vários métodos de previsão deste parâmetro, de forma a verificar qual o modelo de previsão mais adequado a cada uma das albufeiras.

Na estimativa das concentrações de clorofila *a*, foram utilizadas as concentrações de azoto total e fósforo total medidas nas duas albufeiras, nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006.

Aplicando as equações elaboradas por Dillon & Rigler, Jones & Bachman e por Smith, aos dados da albufeira da Apartadura, verificou-se que o modelo de Smith foi o que permitiu obter concentrações de clorofila *a* mais próximas dos valores medidos. Para a albufeira de Póvoa e Meadas, a equação de Dillon & Rigler é a que mais se adequa aos valores medidos nos dois anos hidrológicos em estudo.

Analizou-se ainda a relação entre transparência e concentração de clorofila *a* (medida) para cada uma das albufeiras em estudo, verificando-se que a relação só é notória a partir de uma concentração de clorofila *a*, de aproximadamente 6 mg/m<sup>3</sup> para a albufeira da Apartadura e de 30 mg/m<sup>3</sup> para a albufeira de Póvoa e Meadas.

Um dos objectivos deste trabalho consiste na análise do estado trófico das duas albufeiras, baseados em correlações e informação qualitativa.

Utilizando os gráficos construídos por Vollenweider (1968) que relacionam a profundidade média da albufeira com as cargas anuais de azoto total e fósforo total que se estimaram afluir à albufeira, conclui-se que tanto a albufeira da Apartadura como a albufeira de Póvoa e Meadas apresentam afluência de cargas muito elevada para ambos os nutrientes, consideradas pelo critério de Vollenweider, como cargas perigosas.

Avaliando o estado trófico das duas albufeiras de acordo com a classificação quantitativa proposta por este mesmo autor, verifica-se a albufeira da Apartadura se encontra no estado Eupolitrófica em ambos os anos hidrológicos analisados. Quanto à albufeira de Póvoa e Meadas verifica-se que o seu estado trófico apresenta maior grau de deterioração, sendo classificada por este critério como Politrófica, nos dois anos hidrológicos analisados.

Se a classificação das massas de água em estudo for efectuada através do método da OCDE, e considerando o fósforo como nutriente limitante, verifica-se o seguinte:

- Albufeira Apartadura: estado Eutrófico nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006

- Albufeira Póvoa e Meadas: estado Hiper-Eutrófico nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006

Segundo o critério apresentado pelo INAG e considerando o fósforo como nutriente limitante, verifica-se o seguinte:

- Albufeira Apartadura: estado Mesotrófico nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006
- Albufeira Póvoa e Meadas: estado Eutrófico nos anos hidrológicos 2004/2005 e 2005/2006

Utilizando o Índice do estado trófico de Carlson (TSI) para a classificar as albufeiras, verifica-se que para os dois anos hidrológicos em estudo, a albufeira da Apartadura se encontra no estado Eutrófico, e a albufeira de Póvoa e Meadas se encontravam no estado Hiper-Eutrófico nos dois anos em estudo.

Tratando-se de duas albufeiras de características distintas e com cargas afluentes também bastante diferentes, é importante utilizar um método de classificação de massa de água que permita a sua diferenciação. No entanto, o método a utilizar na classificação de albufeiras, deverá ter em consideração os parâmetros disponíveis para análise, bem como a facilidade de determinação e a relação custo-benefício da análise. Por estes motivos, o critério do INAG que analisa menor quantidade de parâmetros, permite ainda assim, uma classificação bastante rigorosa e adequada às duas albufeiras em estudo.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agency, EEA - European Environment. *Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment*. Copenhagen: European Environment Agency, 2005, 47.
- Agency, European Environment. *Environmental Indicator Report - Ecosystem Resilience and resource efficiency in a green economy in Europe*. Copenhagen: European Environment Agency, 2012, 151.
- Água, Ministério do Ambiente - Instituto da. *Plano de Ordenamento da Albufeira de Apartadura - Projecto do POA - Elementos Fundamentais*. Ministério do Ambiente - Instituto da Água, 2000.
- Alentejo, DRAOT-Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do. *Identificação e Caracterização das Fontes Poluidoras de Carácter Pontual localizadas em Bacias Hidrográficas das Albufeiras Destinadas à Produção de água para Consumo Humano e em Bacias Drenates para Zonas Balneares*. DRAOT - Alentejo, 1999, 61.
- CCDRA. "Anuário de Recursos Hídricos do Alentejo - Albufeira da Apartadura." *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo*. s.d. [http://www.ccdra.gov.pt/app/relatorios/raa\\_2004/raa\\_11.pdf](http://www.ccdra.gov.pt/app/relatorios/raa_2004/raa_11.pdf) (acedido em Maio de 2007).
- Cooke, G. Dennis, Eugene B. Welch, Spencer A. Peterson, e Peter R. Newroth, 1993. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Lewis Publishers.
- Diogo, P. A., S. P. Coelho, M. C. Almeida, N. S. Mateus, e A. C. Rodrigues, 2004. *Influência do fósforo de origem agrícola na classificação do estado trófico das principais albufeiras de Portugal Continental*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Diogo, P. A., P. S. Coelho, M. C. Almeida, N. S. Almeida, e A. C. Rodrigues, 2003. *Estimativa de Cargas Difusas com Origem Agrícola na Bacia Hidrográfica do Rio Degebe*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 12.
- Environmental Protection Agency, Ireland. *Eutrophication of Inland and Estuarine Waters - Difuse agricultural and municipal sewage sources are the main causes of eutrophication in Irland*. Environmental Protection Agency, Ireland, 2004, 16.
- Fountoulakis, M. S.; Dokianakis, N. S.; Kornaros, M. E.; Aggelis, G. G.; Lyberatos, G, 2002. *Removal of phenolics in olive mill wastewaters using the white-rot fungus Pleurotus ostreatus*. Patras (Greece): Laboratory of Biochemical Engineering & Environmental Technology, Department of Chemical Engineering, University of Patras.
- Guerreiro, Noémia, e P.B. Pereira, 2002. *Poluição e Qualidade da Água*. Lisboa: Instituto da Água.
- Harper, D., 1992. *Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restoration*. London: Chapman&Hall.
- MAOT, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. *Plano Nacional da Água*. Lisboa: Instituto da água, 2001, 517.
- Merten, Gustavo H., e Jean P. Minella, 2002. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*. Porto Alegre: Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent..
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. *Código das Boas Práticas Agrícolas - Quantidade médias de nutrientes principais excretados anualmente por unidade de animal das principais espécies pecuárias - Anexo I*. Lisboa: Ministério da Agricultura, 1997, 53.

Robalo, Gisela, Outubro 2001. *Poluição Difusa na Bacia Hidrográfica da Albufeira do Roxo - Relatório de Estágio II*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.

Vide, Câmara Municipal de Castelo de. *Plano de Ordenamento da Albufeira de Póvoa e Meadas - Proposta preliminar de Ordenamento*. Câmara Municipal de Castelo de Vide, 1995.

Wetzel, Robert G., 1993. *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

### **Páginas de Internet**

INAG. (s.d.). *Critério de classificação do estado trófico das albufeiras (OCDE, 1983)*. Obtido em 23 de Maio de 2007, de INAG: [www.inag.pt](http://www.inag.pt)

INAG. (2004-2005). *Avaliação do estado trófico em Albufeiras - Anuário dos Recursos Hídricos do Alentejo - Ano Hidrológico 2004-2005*. Obtido em 23 de Maio de 2007, de INAG: <http://www.inag.pt>

CCDRA. (s.d.). *Anuário de Recursos Hídricos do Alentejo - Albufeira da Apartadura*. Obtido em Maio de 2007, de Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo: [http://www.ccdra.gov.pt/app-relatorios-raa\\_2004-raa\\_11.pdf](http://www.ccdra.gov.pt/app-relatorios-raa_2004-raa_11.pdf)

CCDRA. (s.d.). *Anuário de Recursos Hídricos do Alentejo - Albufeira de Póvoa e Meadas*. Obtido em Maio de 2007, de Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo: [http://www.ccdra.gov.pt/app-relatorios-raa\\_2004-raa\\_11.pdf](http://www.ccdra.gov.pt/app-relatorios-raa_2004-raa_11.pdf)

SNIRH. (s.d.). Obtido em Maio de 2007, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://snirh.inag.pt>

SNIRH. (s.d.). Obtido em Novembro de 2012, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Atlas da água: [http://snirh.pt/snirh/\\_atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1029.pdf](http://snirh.pt/snirh/_atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1029.pdf)

Meteorologia (s.d.). Normais Climatológicas 1960-1990, Portalegre (571). Obtido em Julho de 2007, de Instituto de Meteorologia, IP: <http://www.meteo.pt/pt/>

Portugal (s.d.). Albufeira da Apartadura. Obtido em Agosto de 2012, de Águas de Portugal: <http://www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=2803&t=Albufeira-da-Apartadura>

### **Equação 2**

Cooke, G. Dennis, Eugene B. Welch, Spencer A. Peterson, e Peter R. Newroth, 1993. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Lewis Publishers.

### **Equação 3**

Cooke, G. Dennis, Eugene B. Welch, Spencer A. Peterson, e Peter R. Newroth, 1993. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Lewis Publishers.

### **Equação 4**

Cooke, G. Dennis, Eugene B. Welch, Spencer A. Peterson, e Peter R. Newroth, 1993. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Lewis Publishers.

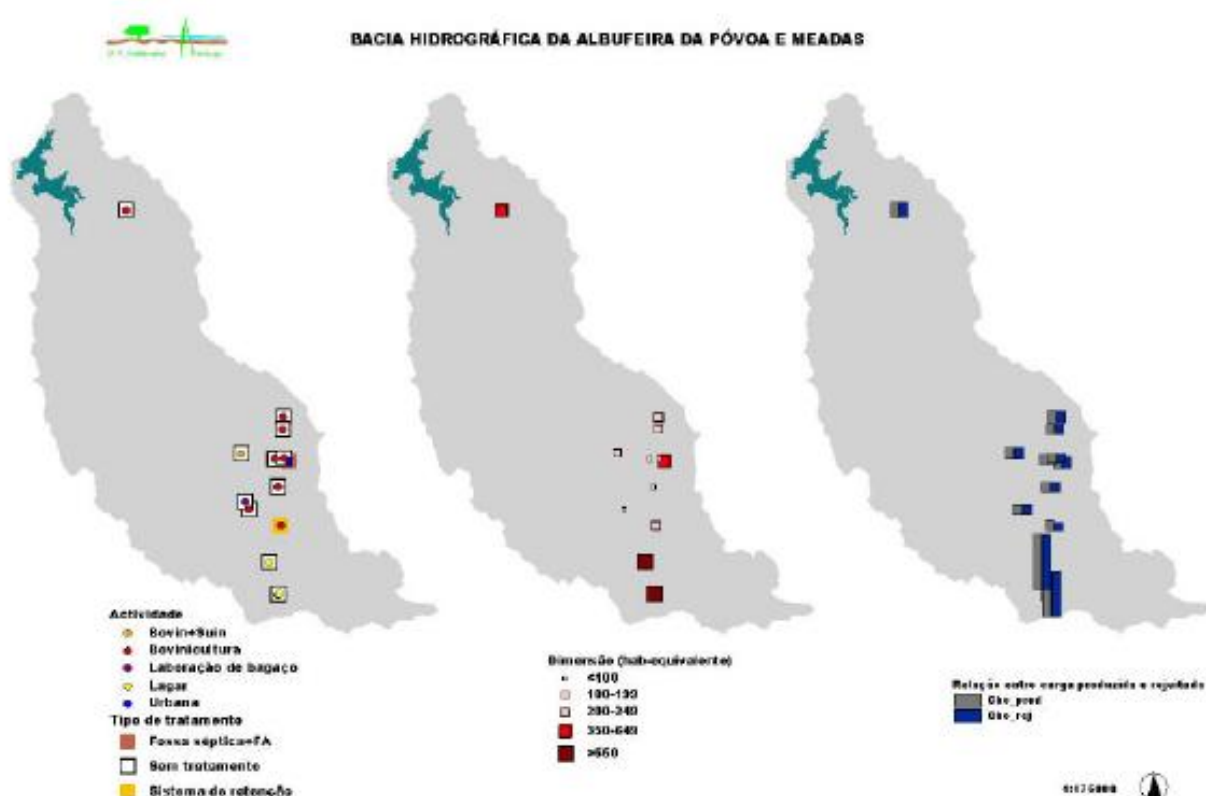


## ANEXOS

**Anexo 1** - Composição de um efluente de lagar (águas ruças), obtido de um lagar (com centrifugação de 3 fases) localizado em Patras (Grécia Ocidental). Imediatamente após a recolha a amostra foi mantida a uma temperatura de 4°C, durante o período de análise. (M. S. Fountoulakis, 2002).

Parameter	Value (mg/L) <sup>a</sup>
TSS	46120±5250
VSS	41910±6330
Total COD	105373±13870
Dissolved COD	58197±1750
BOD <sub>5</sub>	47780±1570
Total phenols	10,2±0,14
Dissolved phenols	8,2±0,09
Total phosphorus	293,9±15,87
Dissolved phosphorus	212,6±29,66
TKN	750±24
pH	5,4±0,07

**Anexo 2** - Actividades e tipos de tratamento, dimensões das actividades e cargas afluentes na bacia hidrográfica de Póvoa e Meadas.



**Anexo 3 -** Concentração máxima fósforo no inverno, concentração máxima e média de clorofila a no verão e concentração de fósforo mínima de verão e mínima anual, para os anos hidrológicos compreendidos entre 2001/2002 e 2005/2006, para a albufeira da Apartadura e de Póvoa e Meadas.

Albufeira	Ano Hidrológico	Fósforo máx inverno (mg P/l)	Clorofila a máx verão (mg/m <sup>3</sup> )	Fósforo mín de verão (mg/l)	Fósforo mín anual (mg/l)	Clorofila a méd de verão (mg/m <sup>3</sup> )
Apartadura	2000/2001	0,025	10,90	0,013	0,013	5,230
	2001/2002	0,031	3,13	0,039	0,017	1,860
	2002/2003	0,041	1,83	0,017	0,007	1,480
	2003/2004	0,025	1,48	0,015	0,015	1,850
	2004/2005	0,065	18,05	0,016	0,013	7,170
	2005/2006	0,036	3,74	0,064	0,013	3,370
Póvoa e Meadas	2000/2001	0,19	68,70	0,220	0,180	49,970
	2001/2002	0,16	41,46	0,070	0,070	34,300
	2002/2003	0,15	90,77	0,140	0,110	33,490
	2003/2004	0,22	66,53	0,280	0,080	90,760
	2004/2005	0,30	58,77	0,160	0,090	38,480
	2005/2006	0,57	81,91	0,121	0,121	44,850

**Anexo 4 - Dados de qualidade de água superficial (transparência e clorofila a) relativos à estação de amostragem da albufeira da Apartadura para os anos hidrológicos de 2001 a 2006 (CCDRA, Anuário de Recursos Hídricos do Alentejo - Albufeira de Póvoa e Meadas).**

Data de colheita	Hora	Transparência (m)	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )
10-10-2000	10:00:00	3,2	
14-11-2000	10:30:00	2,1	13,9
11-12-2000	11:00:00	1,9	18,1
12-12-2000	11:00:00	1,8	15
16-01-2001	11:15:00	3,4	6,8
13-02-2001	10:45:00	2,8	1,9
13-03-2001	11:00:00	3,1	3
09-04-2001	10:30:00	4	3,7
15-05-2001	10:45:00	2,2	5,9
12-06-2001	11:30:00	2	4,2
10-07-2001	10:45:00	1,7	10,9
07-08-2001	10:50:00	2,3	2
11-09-2001	10:45:00	3,1	2,8
09-10-2001	11:20:00	3	4,6
13-11-2001	11:45:00	2,9	12,3
11-12-2001	11:00:00	1,9	18,1
15-01-2002	11:30:00	2,8	4,8
13-02-2002	11:30:00	2,6	0,3
12-03-2002	11:30:00	2	
09-04-2002	11:30:00	2,1	2,94
14-05-2002	11:40:00	3,6	1
11-06-2002	12:00:00	2	1,5
09-07-2002	11:45:00	2,8	1
06-08-2002	11:30:00	2,9	3,13
10-09-2002	11:45:00	2,5	1,44
08-10-2002	11:30:00	2,2	1,7
11-10-2002	9:45:00	1,8	
05-11-2002	11:30:00	3,2	1,61
03-12-2002	11:30:00	2,4	1,61
14-01-2003	13:30:00	2,3	0,78
11-02-2003	11:30:00	3,1	1,27
11-03-2003	11:30:00	3,1	1,66
08-04-2003	11:30:00	3,5	1,83
13-05-2003	10:00:00	4,2	1,33
11-06-2003	11:30:00	2,5	1,39
06-07-2003	8:30:00	3,6	1,48
08-07-2003	10:00:00	2	
05-08-2003	8:00:00	1,8	
16-09-2003	12:00:00	2,3	
14-10-2003	11:30:00	3,2	1,05
11-11-2003	11:30:00	2,8	6,28
09-12-2003	11:30:00	1,4	1,29
20-01-2004	11:30:00	3,1	1,2
17-02-2004	11:30:00	2,7	3,51
16-03-2004	11:45:00	2,2	1,94
13-04-2004	12:00:00	2,8	1,94
11-05-2004	12:00:00	2	2,26
08-06-2004	12:00:00	3,7	1,71
06-07-2004	8:30:00	3,6	1,48
03-08-2004	11:30:00	2,6	3
14-09-2004	12:00:00	2,6	1,06
12-10-2004	12:00:00	2,8	1,39
09-11-2004	11:45:00	3,1	2,95
06-12-2004	12:00:00	3,2	1,39
18-01-2005	11:45:00	2,5	2,12
15-02-2005	11:30:00	2,5	2,12
15-03-2005	11:30:00	2,5	1,11
12-04-2005	12:00:00	2,8	0,97
10-05-2005	12:00:00		1,25
07-06-2005	12:00:00	2,8	0,83
05-07-2005	8:30:00		1,89
02-08-2005	12:30:00	2,2	1,57
13-09-2005	8:30:00	2,8	18,05
08-11-2005	8:45:00	2,2	
06-12-2005	8:30:00	2	4,29
17-01-2006	9:00:00	1,8	6,56
14-02-2006	9:00:00	2	0,69
14-03-2006	9:00:00	2	4,57
10-04-2006	9:00:00	1,8	4,16
09-05-2006	8:30:00		2,63
06-06-2006	7:30:00	1,8	3,46

**Anexo 5 - Dados de qualidade de água superficial (transparência e clorofila a) relativos à estação de amostragem da albufeira de Póvoa e Meadas para os anos hidrológicos de 2001 a 2006 (CCDRA, Anuário de Recursos Hídricos do Alentejo - Albufeira de Póvoa e Meadas)**

Data de colheita	Hora	Transparência (m)	Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )
10/10/2000	11:00:00 AM	0,6	
11/14/2000	9:15:00 AM	0,7	77,9
12/12/2000	9:30:00 AM	0,6	13,7
1/16/2001	10:00:00 AM	0,9	2,3
2/13/2001	9:30:00 AM	0,9	4,2
3/13/2001	9:45:00 AM	1,1	2,7
4/9/2001	9:30:00 AM	1	9,9
5/15/2001	10:00:00 AM	0,9	23,6
6/12/2001	10:15:00 AM	0,8	12
7/10/2001	9:30:00 AM	0,8	24,8
8/7/2001	9:45:00 AM	0,6	68,7
9/11/2001	9:30:00 AM	0,7	9,4
10/9/2001	10:00:00 AM	1	10,4
11/13/2001	10:15:00 AM	0,8	23,1
12/11/2001	10:15:00 AM	0,7	22,4
1/15/2002	10:30:00 AM	0,8	20,7
2/13/2002	10:30:00 AM	0,7	8,3
3/13/2002	10:15:00 AM	0,8	
4/9/2002	10:15:00 AM	1,1	26,87
5/14/2002	10:30:00 AM	0,9	4,1
6/11/2002	11:00:00 AM	0,9	4,32
7/9/2002	10:30:00 AM	0,9	41,46
8/6/2002	10:30:00 AM	0,7	41,22
9/10/2002	10:50:00 AM	0,8	17,8
10/8/2002	10:30:00 AM	0,8	72,86
11/5/2002	10:30:00 AM	0,4	17,45
12/3/2002	10:30:00 AM	0,8	17,45
1/14/2003	10:30:00 AM	1	6,83
2/11/2003	10:30:00 AM	0,8	9,7
3/11/2003	10:30:00 AM	0,8	18,56
4/8/2003	10:30:00 AM	1	35
5/13/2003	11:00:00 AM	0,9	4,16
6/11/2003	10:30:00 AM		2,45
7/8/2003	10:45:00 AM	0,8	90,766
8/5/2003	9:45:00 AM	0,6	
10/14/2003	10:30:00 AM	0,7	15,24
11/11/2003	10:30:00 AM	0,8	17,18
12/9/2003	10:30:00 AM	0,7	1,48
1/20/2004	10:30:00 AM	0,7	1,89
2/17/2004	10:30:00 AM	0,7	17,08
3/16/2004	10:45:00 AM	1	24,93
4/13/2004	11:00:00 AM	0,9	28,72
5/11/2004	11:00:00 AM	1	14,13
6/8/2004	10:30:00 AM	1,1	17,73
7/6/2004	10:00:00 AM	1	5,36
8/3/2004	10:15:00 AM	0,9	43,54
9/14/2004	10:45:00 AM	0,8	66,53
10/12/2004	11:00:00 AM	0,9	14,36
11/9/2004	11:00:00 AM	0,7	18,61
12/6/2004	11:00:00 AM	0,7	6
1/18/2005	10:45:00 AM	0,7	41
2/15/2005	10:30:00 AM	0,6	44,51
3/15/2005	10:30:00 AM	0,6	44,37
4/12/2005	11:00:00 AM	0,8	21,98
5/10/2005	11:00:00 AM	0,8	10,43
6/7/2005	11:00:00 AM	0,6	14,77
7/5/2005	10:00:00 AM	0,7	48,8
8/2/2005	11:00:00 AM	0,6	42,34
9/13/2005	10:00:00 AM	0,7	58,77
10/11/2005	8:45:00 AM	0,6	
11/8/2005	10:30:00 AM	0,6	
12/6/2005	9:30:00 AM	0,7	7,71
1/17/2006	10:15:00 AM		6,74
2/14/2006	10:00:00 AM	0,7	6,37
3/14/2006	10:00:00 AM	0,7	110,74
4/10/2006	10:00:00 AM	0,7	36,1
5/9/2006	9:30:00 AM		65,93
6/6/2006	8:30:00 AM	0,7	16,94
7/4/2006	9:30:00 AM	0,7	10,3
8/1/2006	9:00:00 AM	0,7	81,91
9/12/2006	8:30:00 AM	0,6	42,34
7/4/2006	9:30:00 AM	0,7	10,3
8/1/2006	9:00:00 AM	0,7	81,91
9/12/2006	8:30:00 AM	0,6	42,34